

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СБОРНИК КОНКУРСНЫХ
НАУЧНЫХ РАБОТ
СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ**

Часть I

Брест 2022

УДК 624;628;+338:339

Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов.

Рецензент: к. т. н., доцент Молош В. В.

В сборнике представлены статьи по проблемам строительства и архитектуры, водохозяйственного строительства, информационных систем и машиностроения, отражающие результаты научных исследований и представленные на Республиканский конкурс научных работ студентов и магистрантов вузов Республики Беларусь.

Издаётся в 2 частях. Часть 1.

ISBN 978-985-493-558-4 (ч.1)

ISBN 978-985-493-557-7

Редакционная коллегия: главный редактор: к. т. н., доцент Шалобыта Н. Н.
зам. главного редактора: к. т. н., доцент Молош В. В.

Члены редколлегии: к. т. н., доцент Акулова О. А.
к. т. н. Парфиевич А. Н.
ст. преподаватель Ермакова Э. Э.
к. т. н., доцент Кандыбо С. Н.
ст. преподаватель Кузьмина Е. В.

УДК 624;628;+338:339

ISBN 978-985-493-558-4 (ч.1)
ISBN 978-985-493-557-7

© Издательство БрГТУ, 2022

**ПРОБЛЕМЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА И ОХРАНЫ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСТРУКЦИИ ТЕКСТИЛЬНОГО КРАСИТЕЛЯ «КОРАФИКС ДЖЕТ» В ВОДНОМ РАСТВОРЕ С ПОМОЩЬЮ ОЗОНА

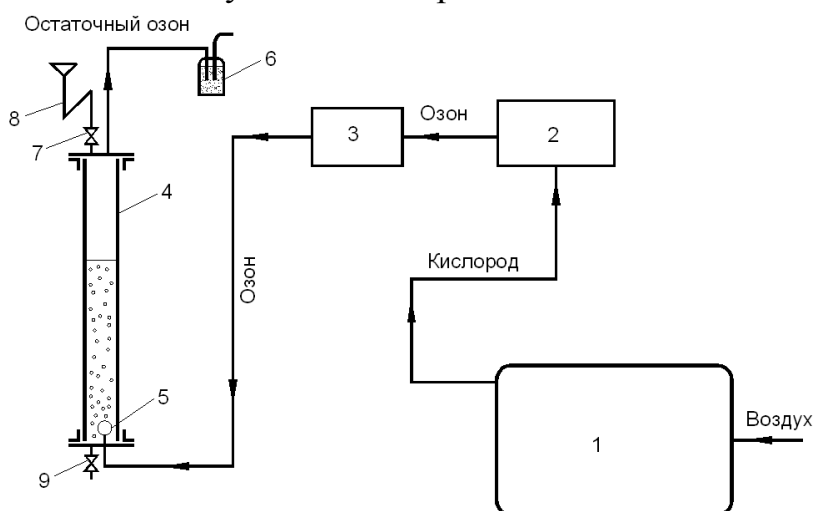
Введение

При окрашивании тканей расходуется большое количество воды. Основной объем воды затрачивается на осуществление многочисленных промывок тканей, прошедших окрашивание. Вода является дорогостоящим ресурсом, поэтому повторное использование промывной воды позволит сэкономить значительное количество финансовых средств [1]. Например, ОАО «Свитанок» покупает воду у холдингу «БелАЗ», тратит деньги на реагенты для очистки воды по требуемым показателям и платит деньги водоканалу за сброс сточной воды в канализацию. В сумме 1 м³ воды обходится ОАО «Свитанок» в 3,1 рубля. На рассматриваемом текстильном предприятии находятся десятки красильных аппаратов периодического действия, в которых окрашиваются текстильные изделия в различные цвета. Для исследования возможности повторного использования промывной воды с последних стадий промывок был исследован трудноудаляемый и широко применяемый на ОАО «Свитанок» краситель.

Методическая часть

Озон вводили в виде водного раствора. Для этого насыщали озоном дистиллированную воду, определяли концентрацию озона в ней и вводили заданный объем озонированной воды в обрабатываемый раствор красителя. В результате этого происходило взаимодействие красителя и озона, находящихся в растворе и двукратное разбавление исходного раствора красителя [2]. После этого снимали спектр поглощения обработанного озонированным раствором. Далее, используя программу «Окраска-мониторинг», обрабатывали полученный спектр поглощения пробы и программа рассчитывала интенсивность окраски [3].

Схема установки для получения озонированной воды показана на рисунке 1.



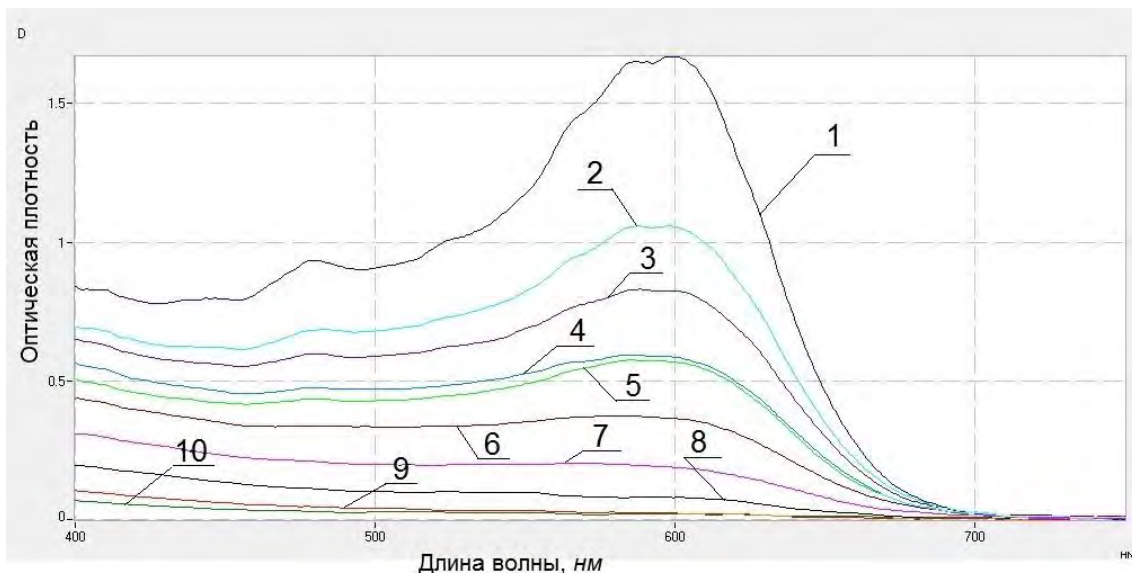
- 1 – концентратор кислорода *Atmung oxy 6000*; 2 – озонатор *PLATON 10/2*;
3 – озонометр *МЕДОЗОН 254/5*; 4 – контактная колонка; 5 – диспергатор;
6 – деструктор остаточного озона; 7 – вентиль для заливки воды;
8 – гидравлический затвор; 9 – вентиль для отбора озонированной воды

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Экспериментальная часть

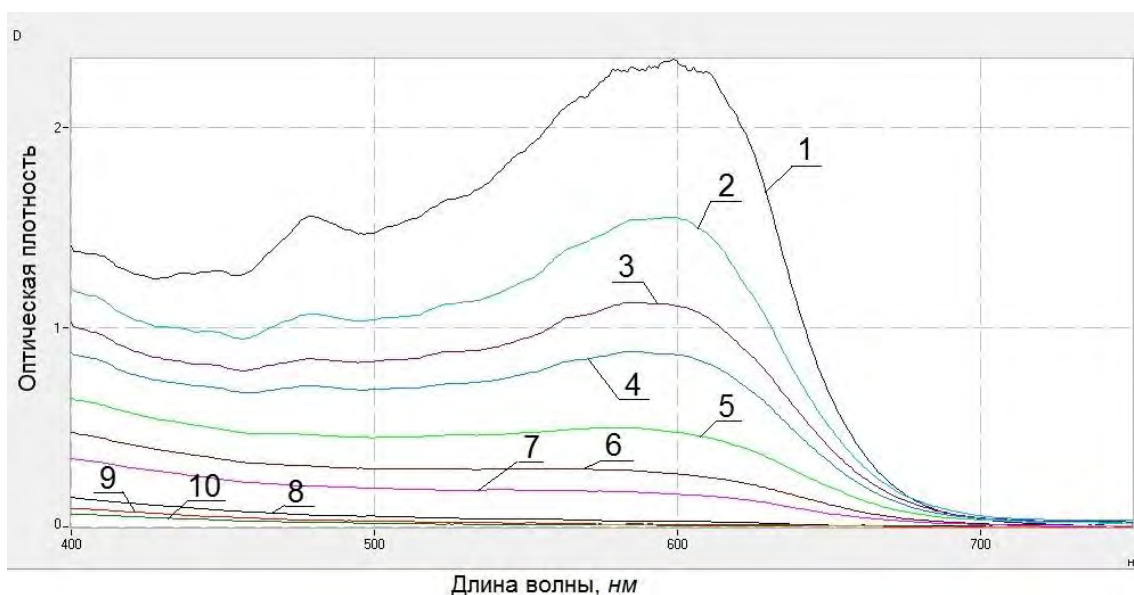
С текстильного предприятия ОАО «Свитанок» был получен краситель «Корафикс джет», поскольку данный краситель наиболее широко используется в текстильном производстве и наиболее сильно окрашивает и тяжело удаляется с помощью существующих на ОАО «Свитанок» методов очистки.

Для исследования влияния продуктов деструкции красителя на интенсивность окраски озонированной пробы было проведено три серии опытов деструкции красителя озоном, с различными концентрациями исходного раствора красителя. Результаты данных экспериментов приведены на рисунках 2...3.



1 – исходный краситель; 2 – доза озона 0,035 мг/мг; 3 – доза озона 0,065 мг/мг; 4 – доза озона 0,11 мг/мг; 5 – доза озона 0,16 мг/мг; 6 – доза озона 0,195 мг/мг; 7 – доза озона 0,275 мг/мг; 8 – доза озона 0,39 мг/мг; 9 – доза озона 0,525 мг/мг; 10 – доза озона 0,685 мг/мг

Рисунок 2 – Деструкция красителя «Корафикс джет» с концентрацией исходного раствора красителя 10 мг/л



1 – исходный краситель; 2 – доза озона 0,05 мг/мг; 3 – доза озона 0,087 мг/мг; 4 – доза озона 0,133 мг/мг; 5 – доза озона 0,186 мг/мг; 6 – доза озона 0,253 мг/мг; 7 – доза озона 0,33 мг/мг; 8 – доза озона 0,46 мг/мг; 9 – доза озона 0,6 мг/мг; 10 – доза озона 0,68 мг/мг

Рисунок 3 – Деструкция красителя «Корафикс джет» с концентрацией исходного раствора красителя 15 мг/л

На основе вышеприведенных спектров с помощью программы «Окраска-мониторинг» была определена интенсивность окраски исходного и озонированных различными дозами озона красителя. В результате выяснили, что снижение интенсивности окраски не зависит от концентрации обрабатываемого исходного раствора красителя. На снижение интенсивности окраски красителя

на
1 м

Корафикс 10 мг н л

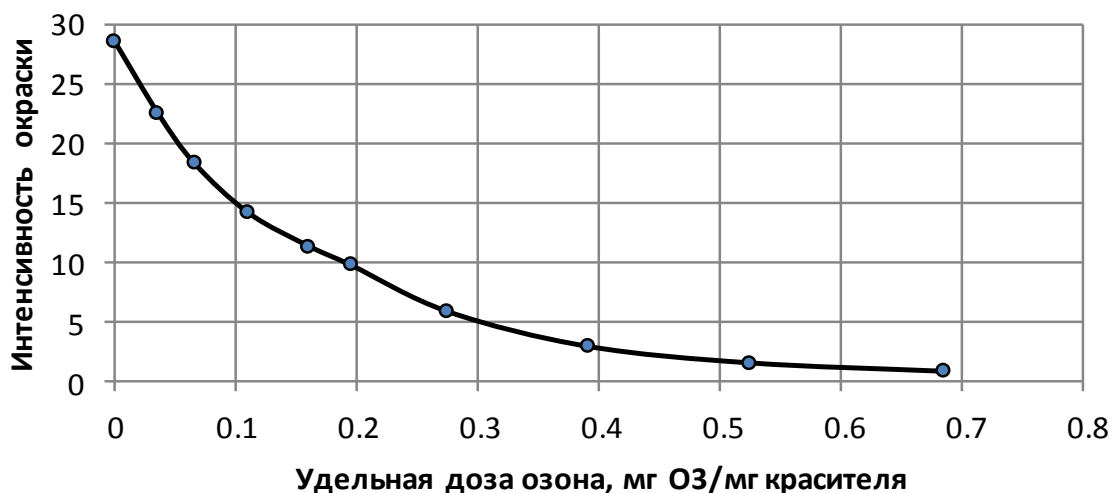


Рисунок 4 – Зависимость снижения интенсивности окраски красителя «Корафикс джет» от удельной дозы озона

Заключение

Работа является частью большой работы по исследованию возможности повторного использования технологических растворов текстильных предприятий. Данные исследования показали возможность полного обесцвечивания исследуемого красителя методом озонирования. Также установлено, что продукты деградации красителя не влияют на снижение интенсивности окраски озонированной пробы. Интенсивность окраски зависит исключительно от удельной дозы озона, т. е. количества озона, приходящегося на 1 мг красителя.

Список цитированных источников

1. Васильев, Г. В. Водное хозяйство и очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности / Г. В. Васильев, Ю. М. Ласков, Е. Г. Васильева. – М. : Легкая индустрия, 1976. – 224 с.
2. Житенев, Б. Н. Применение озона для снижения окраски сточных вод текстильных предприятий легкой промышленности / Б. Н. Житенев, С. Г. Белов, Г. О. Наумчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2010. № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 90–97.
3. Белов, С. Г. Разработка инструментального метода определения интенсивности окраски сточных вод текстильных предприятий / С. Г. Белов, Г. О. Наумчик // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – № 3. – С. 53–65.

УДК 628.316

Мацкович О. А., Острейко А. А.

Научные руководители: к. т. н. Андreyuk С. В.; к. т. н., доцент Белов С. Г.

МОНИТОРИНГ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВЫХ ВОДОПРОВОДОВ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ И НЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Выполнен мониторинг показателей качества воды хозяйственно-питьевых водопроводов г. Кобрин и Кобринского района. По состоянию на 01.09.2021 на балансе КУПП «Кобринрайводоканал» находится 36 хозяйственно-питьевых водопроводов, в том числе централизованная система хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Кобрин, а также нецентрализованные локальные системы хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов Кобринского района.

Специалистами Кобринского зонального центра гигиены и эпидемиологии периодически подлежат обследованию участки хозяйственно-питьевой водопровода г. Кобрин и населенных пунктов Кобринского района, находящиеся на балансе коммунальное унитарное производственное предприятие «Кобринрайводоканал», на предмет соответствия качества воды, которая подается потребителям, требованиям санитарных правил и норм к питьевой воде.

В ходе периодической проверки с отбором проб воды из водоразборных колонок г. Кобрин для исследования на микробиологические и санитарно-химические показатели периодически фиксируются превышения по содержанию в воде железа и марганца.

При обследовании по желанию водопотребителей качества воды индивидуальных источников водоснабжения в 2019–2021 гг. имели место превышения по концентрации нитратов.

Целью данной работы стало усиление внимания к проблеме низкой эффективности водоочистных сооружений централизованных систем водоснабжения, предназначенных для обезжелезивания и деманганации, а также проблеме загрязнения подземных вод нецентрализованных систем водоснабжения азотсодержащими веществами. На основе статистической обработки данных проведены исследования по выявлению недостатков эксплуатационного характера существующих сооружений технологических схем водоподготовки централизованных и локальных систем водоснабжения; проанализированы мероприятия по интенсификации процессов водоподготовки станций обезжелезивания; разработаны технологические схемы очистки подземных вод, содержащих нитраты и соединения железа (II) в концентрациях выше ПДК, для индивидуальных систем питьевого водоснабжения.

Мониторинг показателей качества воды хозяйственно-питьевого водопровода г. Кобрин и населенных пунктов Кобринского района (централизованная система водоснабжения и нецентрализованные локальные системы хозяйственно-питьевого водоснабжения)

Хозяйственно-питьевое водоснабжение г. Кобрин базируется на использовании подземных вод. Используемые на водозаборе «Брилево» подземные воды

пресные, умеренно жёсткие. В бактериологическом отношении воды чистые, по физическим свойствам – без цвета и запаха. К недостаткам вод используемого водоносного горизонта относится повышенное содержание железа до $4,6 \text{ мг/дм}^3$, цветность до 69 градусов цветности, мутность до $3,7 \text{ мг/дм}^3$. После обезжелезивания содержание железа в воде не должна превышать $0,3 \text{ мг/дм}^3$, цветность 20° , мутность $1,5 \text{ мг/дм}^3$. Однако ситуация наличия превышений по концентрациям железа и марганца в воде после станций обезжелезивания характерна для водоразборных колонок г. Кобрина, а также хозяйственно-питьевого водопровода населенных пунктов Кобринского района.

Хозяйственно-питьевой водопровод населенных пунктов Кобринского района включает в себя артезианские скважины глубиной м, станцию обезжелезивания, водонапорную башню, от 4 до 30 км водопроводных сетей.

Согласно обработке данных протоколов испытаний качества проб воды хозяйственно-питьевых водопроводов г. Кобрина и Кобринского района из 20 участков 12 имеют превышения по концентрации железа после станции обезжелезивания (60 % проб), 5 % проб имеют превышения по концентрации марганца. Сопутствующими загрязнениями нередко являются превышения по цветности (до 60 град. при норме 20 град.) и мутности (до 4,1 мг/л при норме 1,5 мг/л).

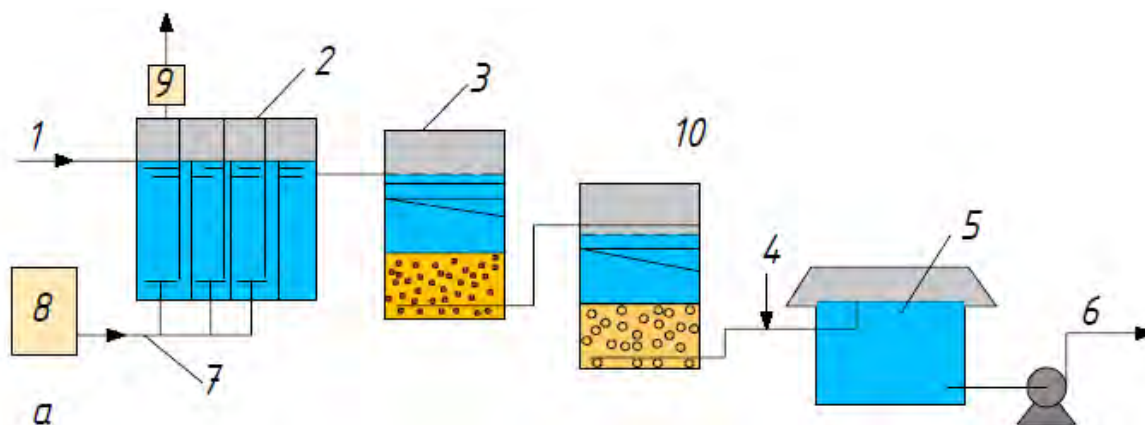
Наряду с недостатками эксплуатационного характера технологические схемы обезжелезивания и деманганации требуют разработки мероприятий по интенсификации процессов водоподготовки по снижению концентрации железа и марганца, с учетом существующих сооружений, в том числе с применением окислительно-сорбционных технологий.

Мероприятия по интенсификации процессов водоподготовки станций обезжелезивания

При применении окислительно-сорбционных технологий очистки воды, учитывая ее высокую стоимость, особое значение имеет проведение предпроектных технологических изысканий, обеспечивающих оптимальную схему и наиболее экономичный режим эксплуатации.

При содержании в воде значительных количеств железа и марганца для более эффективного их окисления рекомендуется применять озонирование. Оптимальная доза озона определяется отдельно для каждого водоисточника.

На рисунке 1 представлен вариант реконструкции традиционной технологической схемы обезжелезивания методом аэрации с фильтрованием на песчаных фильтрах: очистка подземной воды производится с предварительным озонированием и последующим фильтрованием на фильтрах двух типов загрузки. Этот метод может быть применен при небольших концентрациях трудноокисляемых соединений железа (до 15 мг/л) и марганца (до 1 мг/л) в подземной воде. При повышенных концентрациях целесообразно применять двухэтапную очистку воды: на первом этапе удаляется железо с помощью упрощенной аэрации и фильтрования на песчаном фильтре, на втором этапе проводится окисление марганца озоном до нерастворимых соединений (что достигается при оптимальной дозе озона) и последующее их удаление фильтрованием на второй ступени песчаных или угольных фильтров.



1 – подача подземной воды; 2 – контактная камера; 3 – песчаный фильтр;
 4 – подача хлорреактанта; 5 – резервуар чистой воды; 6 – подача очищенной воды потребителю;
 7 – подача озонородушной смеси; 8 – блок подготовки воздуха и синтеза озона; 9 – аппарат каталитического разложения озона; 10 – угольный фильтр; 11 – дегазатор-аэрактор;
 12 – смеситель; 13 – подача коагулянта (в случае необходимости); 14 – турбовоздуходувка
Рисунок 1 – Схема очистки подземных вод от соединений железа, марганца и органических соединений

Лабораторные исследования по пробному обезжелезиванию

С целью разработки рекомендаций по проектированию станции обезжелезивания было выполнено пробное обезжелезивание воды (с исходной концентрацией железа 1,6 мг/л), подаваемой из существующих скважин.

Поскольку в результате исследований выяснилось, что кислород воздуха не может окислить все железо, находящееся в воде, было выполнено исследование удаления железа с использованием озона в качестве дополнительного окислителя.

Дозирование озона в воду осуществлялось за счет контроля расхода озонированного газа с помощью газосчетчика и концентрации озона в озонированном газе с помощью озонмера Медозон 254/5.

Далее озонированную пробу отфильтровали на фильтре, имеющем диаметр пор около 5 мкм. Затем определили концентрацию железа.

На основе выполненных исследований был построен график зависимости остаточной концентрации железа в обрабатываемой воде от дозы озона, представленный на рисунке 2. Озон окисляет железоорганические комплексы, является более сильным окислителем, чем кислород воздуха, поэтому позволяет гарантированно достичь нормативного значения концентрации железа в обрабатываемой воде.

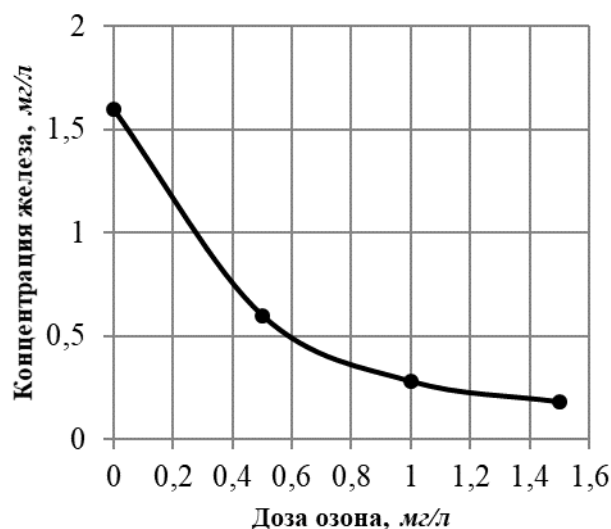


Рисунок 2 – Зависимость остаточной концентрации железа общего от дозы озона

Мониторинг показателей качества воды хозяйственно-питьевого водопровода населенных пунктов Кобринского района нецентрализованных индивидуальных систем водоснабжения

Согласно акту о проведении мероприятия технического (технологического, поверочного) характера специалистами Кобринского зонального ЦГиЭ, периодически, а также по желанию водопотребителей, проводится обследование индивидуальных источников водоснабжения.

Так, в 2019 г. 28 проб из 60 индивидуальных источников водоснабжения потребителей населенных пунктов Кобринского района (шахтные колодцы, скважины глубиной до 15–30 м) имели превышения по концентрации нитратов (47% проб).

Наличие железа (Fe^{2+}) в подземных водах, наряду с нитратами, в концентрациях, превышающих предельно допустимые, является дополнительным фактором, определяющим состав технологической схемы водоподготовки для нецентрализованных локальных и индивидуальных систем питьевого водоснабжения.

При анализе качества пресных подземных вод Беларуси и практически всех регионов с гумидным климатом (в пределах Российской Федерации, в Польше, Литве и многих других странах) отмечают, что наиболее часто в подземных водах фиксируются повышенные концентрации содержания железа, превышающие допустимый уровень, установленный для вод хозяйственно-питьевого назначения – 0,3 мг/дм³. Основной формой, в которой железо присутствует в пресных подземных водах, является Fe^{2+} . Важнейшими геохимическими условиями, способствующими накоплению железа в подземных водах, являются наличие бескислородной обстановки и отсутствие в водах осадителей железа (CO_3^{2-} , HS^- и др.). Максимальные концентрации в водах кислорода (до 8–11 мг/дм³) и, соответственно, минимальные концентрации железа (не обн. – 0,3 мг/дм³) наблюдаются в неглубоко залегающих грунтовых водах на незаболоченных участках. С глубиной содержание кислорода уменьшается. В подобных условиях железо в водах (в форме Fe^{2+}) может накапливаться до весьма значительных концентраций (до 20–50 мг/дм³).

С учетом показателей качества исходной воды в процесс очистки от соединений азота следует включать: осветление (предварительная механическая обработка для исключения попадания мелких частиц в устройства последующей водоподготовки); кондиционирование (основная стадия: удаление нитратов; обезжелезивание – при необходимости); сорбцию (заключительная стадия обработки воды) и обеззараживание.

Технологическая схема очистки подземных вод для индивидуальной системы питьевого водоснабжения

На рисунке 3 представлена разработанная технологическая схема очистки подземных вод, содержащих соединения азота (нитраты) и железа (II) в концентрациях выше ПДК, в индивидуальной системе питьевого водоснабжения.

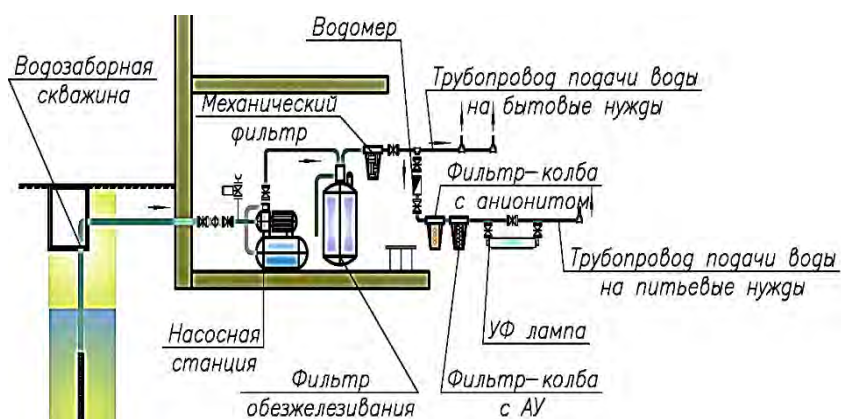


Рисунок 3 – Технологическая схема очистки подземных вод для индивидуальной системы питьевого водоснабжения

ляется на последующую водоподготовку; вода второго потока проходит подготовку на сильноосновных ионообменных смолах, сорбционную очистку на активных углях, обеззараживание ультрафиолетовой лампой. Далее вода второго потока поступает потребителю на питьевые нужды.

Заключение

По результатам экспериментальных и расчетных данных определена эффективность и надежность биологической очистки сточных вод на действующих аэротенках очистных сооружений канализации г. Бреста.

Выполнена статистическая обработка данных по качеству проб воды в результате обследования участков хозяйственно-питьевого водопровода населенных пунктов г. Кобрин и Кобринского района; выявлены недостатки эксплуатационного характера существующих сооружений технологических схем водоподготовки централизованных и локальных систем водоснабжения; проанализированы мероприятия по интенсификации процессов водоподготовки станций обезжелезивания; проведены лабораторные исследования по пробному обезжелезиванию; разработана технологическая схема очистки подземных вод, содержащих нитраты и соединения железа (II) в концентрациях выше ПДК, для индивидуальных систем питьевого водоснабжения.

Список цитированных источников

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник / под общ. ред. И. В. Медведевой. – Минск : Нац. стат. комитет Республики Беларусь, 2020. – 202 с.
2. Житенев, Б. Н. Технологические схемы обесцвечивания и обезжелезивания поверхностных вод белорусского полесья / Б. Н. Житенев, С. В. Андреюк // Сборник материалов Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 18–20 апреля 2012 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2012. – С. 101–103.
3. Андреюк, С. В. Мониторинг качества подземных вод нецентрализованных систем питьевого водоснабжения на содержание нитратов / С. В. Андреюк, А. А. Острейко // Охрана окружающей среды – основа безопасности страны : сб. науч. трудов по материалам Междунар. науч. экол. конф. / под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2022.
4. Наумчик, Г. О. Разработка метода точного дозирования высоких удельных доз озона при обработке воды / Г. О. Наумчик, С. Г. Белов // Вестник БрГТУ. – 2011. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 73–81.

Исходная вода забирается насосной станцией с пневмобаком и подается на водоподготовку: проходит первую ступень очистки – обезжелезивание предварительно насыщенной кислородом воды, после чего разделяется на два потока: 1) подается на бытовые (гигиенические и хозяйственные) нужды потребителю; 2) направляется на последующую водоподготовку;

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ПРЕДПРИЯТИЙ

Введение

Обеспечение водой промышленных предприятий является одной из важных народнохозяйственных задач. В зависимости от вида производства тот или иной вид водопользования может быть преобладающим [1]. В последние годы прослеживается тенденция увеличения процента использования воды из природных источников в системах оборотного водоснабжения за счет разработки и использование оборотных схем в системах водного хозяйства промышленных предприятий [4]. На предприятиях в области машиностроения система оборотного водоснабжения дает возможность довести экономию потребления исходной (из источника водоснабжения) воды до 90 %, особенно в процессах гальванизации металлов. При этом вода используется повторно как для приготовления электролитных растворов, так и для промывки деталей. На предприятиях пищевой промышленности очищенную воду можно задействовать для промывания полуфабрикатов, а также в системах охлаждения как теплоноситель [2].

Целью выполненных научных исследований стало изучение прямоточных и оборотных схем в системах водного хозяйства промышленных предприятий на примере ОАО «Брестмаш», ОАО «Кобринский маслодельно-сыродельный завод». Для достижения поставленной цели ставились следующие задачи исследования:

- 1) аналитический обзор систем водоснабжения по характеру использования воды на предприятиях; изучение типов охладителей в охлаждающих оборотных схемах систем водного хозяйства предприятий;
- 2) изучение существующей и разработка охлаждающей оборотной схемы в системе производственного водоснабжения ОАО «Брестмаш»;
- 3) изучение оборотной схемы в системе производственного водоснабжения Кобринского маслодельно-сыродельного завода;
- 4) проверочный тепловой расчет охладителей воды.

Прямоточные и оборотные схемы систем водоснабжения предприятий

По характеру использования воды на предприятии различают системы водоснабжения: прямоточные, с последовательным использованием воды и оборотные.

Оборотные системы сооружаются как по экологическим нормам (для снижения объемов сброшенных сточных вод в природные источники), так и по технико-экономическому сравнению вариантов (оборотная либо прямоточная схемы). При комплексном использовании воды (комбинированная схема), когда вода является транспортирующей и экстрагирующей средой и одновременно служит теплоносителем, вода в системе оборотного водоснабжения перед повторным применением очищается от загрязнений и охлаждается [3].

При обратном водоснабжении промышленного объекта охлаждающее устройство (охладитель) должно обеспечить охлаждение циркуляционной воды до температур, отвечающих оптимальным технико-экономическим показателям работы объекта. Понижение температуры воды в охладителях происходит в результате передачи ее тепла воздуху.

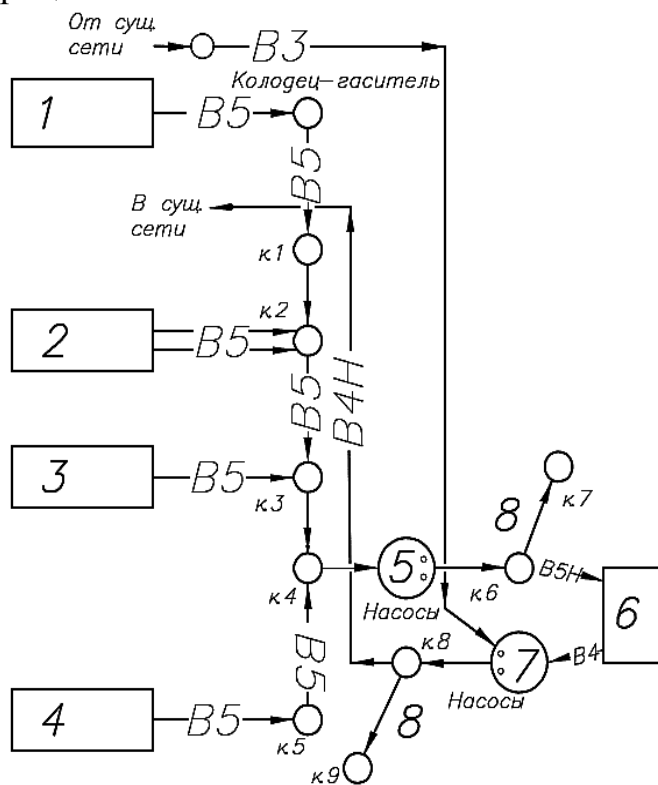
Выбор типа охладителя производится путем технико-экономического сравнения вариантов.

Разработка охлаждающей обратной схемы в системе производственного водоснабжения

Разработка охлаждающей схемы включает в себя проектирование сетей и сооружений для сбора нагретой и отвода охлажденной воды, выбор охлаждающего устройства, подбор насосного оборудования.

Разработанная охлаждающая схема ОАО «Брестмаш» с учетом действующих ТНПА [5, 6] представлена на рисунке 1.

Проектирование начинается с расчета балансовой схемы производственного водоснабжения по заданным расходам воды, используемой в технологическом процессе.



1-4 – цеха-водопользователи; 5,7 – резервуары нагретой и охлажденной воды с насосами;
6 – градирня; 8 – мокрый колодец

Рисунок 1 – Технологическая схема сетей и сооружений обратного водоснабжения ОАО «Брестмаш»

Для отвода горячей воды от цехов в системе обратного водоснабжения проектируется сеть обратного трубопровода обратной воды. Сеть проектируется из канализационных труб с подбором диаметров. На сети устанавливаются смотровые канализационные колодцы. Сбор нагретой воды осуществляется в резервуаре нагретой воды. С учетом современных достижений и тенденций в области разработок (использования) насосного оборудования в резервуаре предусматривается установка погружного насоса. Для обслуживания насосов в резервуаре предусматривается люк и ходовые скобы. Для аварийного сброса из резервуара предусматривается установка мокрого колодца.

Выбор типа охладителя производится путем технико-экономического сравнения вариантов, с учетом показателей работы снабжаемого водой оборудования и требований технологических процессов

промпредприятий к температуре охлаждающей воды. В системах обратного водоснабжения широко принимаются вентиляторные градирни, которые обеспечивают глубокое и устойчивое охлаждение воды. Область применения

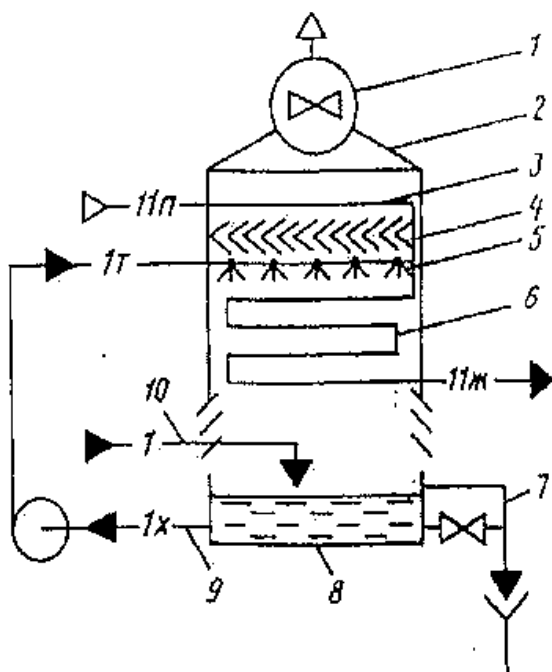
вентиляторных градирен – это топливно-энергетический и агропромышленный комплексы, пищевая промышленность, машиностроение, транспорт, связь. Подбор марки градирни осуществляется на основании расчетного расхода воды, подаваемой на охлаждение. Для напорных и сливных магистралей градирен во избежание перемерзания в зимний период предусматривается теплоизоляция.

Сбор охлажденной воды осуществляется в резервуаре охлажденной воды. Для подачи воды в производственный корпус устраивается сеть подающего водопровода оборотной воды. Сеть проектируется из напорных труб с подбором диаметров. Для защиты сети от промерзания предусматривается изоляция.

С учетом потерей, возникающих в системе оборотного водоснабжения, в схеме проектируется сеть производственного водопровода для подачи подпиточного расхода воды в резервуар охлажденной воды.

Тепловой расчет охладителей

В зависимости от практической задачи возможны разные цели расчета охладителей [5].



- 1 – осевой вентилятор; 2 – каркас с обшивкой;
 3 – форконденсатор; 4 – каплеотделитель;
 5 – водораспределитель с форсунками;
 6 – змеевиковые батареи; 7 – сливной трубопровод;
 3 – поддон; 9 – водозаборный трубопровод;
 10 – линия подачи свежей воды

Рисунок 2 – Схема испарительного конденсатора охлаждающей оборотной схеме маслодельно-сыродельного завода

- значения начальной и конечной температуры воды, °С;
- тепловая нагрузка на охладитель, кВт;
- расчетные параметры наружного воздуха, которые соответствуют климатической зоне или задаются для особых условий эксплуатации;
- технические характеристики охладителя;

1. Расчет вновь проектируемого охладителя для заданного расхода воды, тепловой нагрузки и атмосферных условий.

2. Расчет охладителя для обслуживания отдельного объекта, если по условиям эксплуатации вода из центральной системы оборотного водоснабжения предприятия недостаточно охлажденная. При этом охладитель может работать или на доохлаждение воды, взятой из центральной системы водоснабжения, или автономно.

3. При необходимости проведения реконструкции существующего охладителя с целью увеличения его тепловой и гидравлической нагрузок.

При тепловом расчете охладителей используются следующие параметры, часть из которых может быть задана, а остальные определяются в процессе расчета:

- объемный расход воды, м³/ч;

– характеристики вентилятора, т. е. подача, тыс. м³/ч, и напор Н, мм вод. ст. (или Па);

– геометрические и гидравлические характеристики форсунок, используемых для подачи воды на ороситель.

В результате использования методики теплового расчета охладителей воды были получены значения расчетной температуры воды до и после охлаждения, а также температуры конденсации при разных способах отвода теплоты: для вентиляторной градирни и испарительного конденсатора (рисунок 2), используемых в системах производственного водоснабжения на исследуемых предприятиях.

Заключение

Разработка оборотных схем в системах водного хозяйства промышленных предприятий отражает проблемы охраны окружающей среды и рационального водопользования.

В результате выполненной экспериментальной и расчетной части исследований была разработана охлаждающая оборотная схема в системе производственного водоснабжения ОАО «Брестмаш» и изучена оборотная схема в системе производственного водоснабжения Кобринского маслодельно-сыродельного завода:

– выполнен расчет балансовой схемы водоснабжения и водоотведения по расходам воды, используемой в технологическом процессе;

– запроектированы сети и сооружения для сбора нагретой и отвода охлажденной воды, произведен подбор насосного оборудования и предварительный выбор охладительного устройства;

– произведен проверочный расчет вновь проектируемой градирни для заданного расхода воды, тепловой нагрузки и атмосферных условий (выполнен тепловой расчет с определением величины объемного коэффициента массоотдачи);

– выполнен тепловой расчет градирни и испарительного конденсатора со сравнением температуры охлаждения и конденсации при прямоточном и оборотном водоснабжении.

Список цитированных источников

1. Андреев, С. В. Разработка охлаждающих оборотных схем в системах водного хозяйства промышленных предприятий / С. В. Андреев, В. В. Жук // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / сост. В. В. Корунчикова, Л. С. Новопольцева; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2021. – С. 201–204.

2. Жук, В. В. Ресурсосберегающие системы водоснабжения для охлаждения оборотной воды предприятий / В. В. Жук, С. Л. Новик // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : сб. науч. тр. по материалам IX Всероссийской (с междунар. участием) науч. техн. конф. / под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2022.

3. Кучеренко, Д. И. Обратное водоснабжение (Системы водяного охлаждения) / Д. И. Кучеренко, В. А. Гладков. – М. : Стройиздат, 1980. – 168 с.

4. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник / под общ. ред. И. В. Медведевой. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2020. – 202 с.

5. Строительные нормы Республики Беларусь «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»: СН 4.01.01 – 2019. – Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2020.

6. Строительные нормы Республики Беларусь «Канализация. Наружные сети и сооружения»: СН 4.01.02 – 2019. – Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2020.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Технологическая эффективность городских очистных сооружений определяется сопоставлением проектных показателей степени очистки сточных вод с фактическими. Одновременно достижение проектных и нормативных показателей возможно с выполнением правил технической эксплуатации сооружений водопроводно-канализационного хозяйства. При этом исследование эффективности работы действующих сооружений канализации проводится путем анализа и расчета технологических параметров, характеризующих нормальную работу этих сооружений.

Эффективно работающими очистными сооружениями являются сооружения, численные значения показателей качества очистки которых не превышают проектных или нормативных показателей [3].

Показатели работы очистных сооружений определялись на основании анализа представленных (среднесуточных) проб сточных вод.

Если численные значения показателей качества очистки сточных вод выше проектных или нормативных, производится оценка эффективности работы каждого отдельного сооружения, входящего в состав городских очистных сооружений, с целью установления причин отклонения показателей от проектных или нормативных, а также разработки плана мероприятий по обеспечению эффективной очистки сточных вод.

Целью выполненных научных исследований стало определение эффективности и надежности очистки сточных вод на действующих сооружениях механической и биологической очистки системы канализации г. Бреста. Для достижения поставленной цели ставились следующие задачи исследования:

- 1) на основе эксплуатационных данных действующих сооружений канализации выполнить расчет технологических параметров, характеризующих эффективность работы;
- 2) выполнить сравнение и анализ полученных значений с технологическими параметрами, характеризующими нормальную работу этих сооружений;
- 3) произвести оценку технологической эффективности работы действующих аэротенков и вторичных отстойников городских очистных сооружений.

Исследование эффективности и надежности биологической очистки сточных вод проводились на кафедре водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов учреждения образования «Брестский государственный технический университет» и были выполнены на основе экспериментальных данных по работе аэротенков на действующих очистных сооружениях канализации г. Бреста [1, 2].

Эксплуатационные данные, которые стали основой для расчета и анализа: расход сточных вод максимальный суточный; тип аэротенков, их геометрические характеристики; расход воздуха, подаваемого в сооружения очистки; концентрации загрязняющих веществ по показателям БПК₅, ХПК, взвешенные

вещества, в поступающей и выходящей воде; концентрация кислорода в очищаемых сточных водах; параметры илового индекса и дозы активного ила.

При проведении исследований использовались технологические и математические методы на основе технических рекомендаций по расчету, разработанных НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова [4], а также с учетом действующих ТНПА [7].

Анализировались параметры работы аэротенков в начальный период реконструкции 2015 – 2019 гг. с последующим сравнением их значений в период ввода в эксплуатацию дополнительных секций, а также использования технологии удаления азота и фосфора.

Исследование эффективности работы аэротенков на действующих сооружениях канализации в начальный период реконструкции

На основе эксплуатационных данных действующих сооружений канализации выполнен расчет технологических параметров, характеризующих эффективность очистных сооружений [6]. Для аэротенков вытеснителя, смесителя и аэротенка с рассредоточенным впуском воды были рассчитаны:

- 1) геометрические параметры объема и площади сооружения;
- 2) переработано БПК₅ за сутки, т/сут;
- 3) расход воздуха на кг снятой БПК₅, м³/кг, и на 1 м³ сточной воды, м³/м³;
- 4) интенсивность, м³/м²/ч, и период, ч, аэрации;
- 5) расход кислорода воздуха, м³;
- 6) нагрузка загрязнений на 1 г беззольного вещества активного ила, мг/(г·сут), по БПК₅ и по взвешенным веществам;
- 7) нагрузка на 1 м³ аэротенка по БПК₅, г/сут, (окислительная мощность);
- 8) расход электроэнергии, тыс. кВт·ч, по БПК₅.

В целом, по совокупности анализируемых эксплуатационных и расчетных параметров работы аэротенков, в начальный период реконструкции расчетные значения нагрузки на 1 м³ аэротенка по БПК₅, г/сут, входили в пределы значений технологических показателей работы аэротенков средне- и низконагружаемых, работающих на полную биологическую очистку. С учетом увеличения общего объема аэротенков в 1,4 раза (с 37728 м³ до 54578 м³), а также снижения средней суточной производительности до 82000 м³/сут, объемная нагрузка соответствует условиям работы низконагружаемых аэротенков.

С изменением качественного состава сточных вод из-за перепрофилирования ряда промпредприятий и увеличения количества предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности, с длительной эксплуатацией очистных сооружений, а также с учетом национальных и международных требований к очистке сточных вод, была начата реконструкция городских очистных сооружений, которая продолжается и в настоящее время [8].

Исследование реконструкции Брестских городских очистных сооружений, направленной на внедрение технологии глубокого удаления биогенных элементов

В настоящее время на очистных сооружениях канализации г. Бреста модернизирована механическая очистка сточных вод с установкой современного оборудования, в аэротенках реализована схема биологического удаления азота и

фосфора по Йоханнесбургскому процессу (JNB), реконструированы вторичные отстойники.

С целью установления эффективности проведенных мероприятий по реконструкции очистных сооружений были обработаны статистические данные по качественному составу сточных вод, поступающих на очистные сооружения г. Бреста и выпускаемых в водный объект после очистки за 2019, 2020 и 2021 годы. В таблице 1 представлены показатели качественного состава и эффект очистки сточных вод.

Таблица 1 – Эффективность работы очистных сооружений канализации

Год	Место отбора проб	Среднее значение показателей			Средняя концентрация загрязняющих веществ		
		ХПК _{Cr} , мгО ₂ /дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	взвешенные вещества, мг/дм ³	аммоний-ион, мгN/дм ³	азот общий, мг/дм ³	фосфор общий, мг/дм ³
2019	вход	875,5	310,6	298,9	49,7	58,1	6,7
	выпуск	160,3	49,5	67,4	22,3	32,9	3,9
	эффект, %	82	84	77	55	43	42
2020	вход	933,2	306,9	312,9	51,7	59,2	5,9
	выпуск	69,7	17,4	18,9	16,8	24,8	3,0
	эффект, %	93	94	94	68	58	50
2021	вход	1000,3	306,3	310,3	51,0	61,0	7,2
	выпуск	53,1	10,8	15,1	7,0	9,0	1,2
	эффект, %	95	96	95	86	85	83
Норматив допустимого сброса по [2]		70	15	20	10	20	2,0

Анализ данных таблицы 1 с учетом проведенной оценки технологической эффективности работы действующих очистных сооружений [4] показывает, что в 2021 году, когда была завершена реконструкция и сооружения вышли на штатный режим работы, качество очистки по всем показателям достигло уровень требований стандартов [2]. На современном этапе эксплуатации наблюдается высокий эффект очистки сточных вод по всем показателям.

Заключение

По результатам экспериментальных и расчетных данных определена эффективность и надежность биологической очистки сточных вод на действующих очистных сооружениях канализации г. Бреста.

Произведена оценка технологической эффективности работы действующих аэротенков городских очистных сооружений по снижению показателя БПК₅, биогенных элементов: согласно нормативным показателям все аэротенки работают удовлетворительно.

Реконструкция очистных сооружений канализации г. Бреста с внедрением технологии глубокого удаления азота и фосфора позволила достичь концентраций загрязняющих веществ по азоту общему 9,0 мг/л при эффекте очистки 85 %, по фосфору общему 1,2 мг/л при эффекте очистки 83 %. Следует отметить, что обеспечение такой высокой степени очистки сточных вод возможно только при постоянном мониторинге и контроле определенных параметров сточной и очищенной воды, быстром реагировании на изменение этих параметров, грамотной эксплуатации очистных сооружений.

Список цитированных источников

1. Каперейко, Д. В. Анализ эффективности работы городских канализационных очистных сооружений / Д. В. Каперейко, А. А. Хведченя, Я. В. Полешук // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : сб. науч. тр. по материалам IX Всероссийской (с междунар. участием) науч. техн. конф. / сост. В. В. Корунчикова, Л. С. Новопольцева; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2022.
2. Цап, К. В. Повышение эффективности и надежности биологической очистки сточных вод на действующих аэротенках / К. В. Цап, А. И Морозова // Устойчивое развитие: региональные аспекты: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых, Брест, 22–23 апреля 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; под ред. А. А. Волчека и [др.]. – Брест : БрГТУ, 2021. – 249 с.
3. Денисов, А. А. Повышение эффективности и надежности биологической очистки сточных вод / А. А. Денисов. – М. : ВНИИТЭИагропром, 1989. – 43 с.
4. Методика оценки технологической эффективности работы городских очистных сооружений канализации / Минжилкомхоз РСФСР, Минводхоз СССР. – М. : Стройиздат, 1987. – 16 с.
5. Новикова, О. К. Эксплуатация систем водоснабжения и водоотведения: учеб. пособие / О. К. Новикова; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 206 с.
6. Харьковина, О. В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод / О. В. Харьковина. – Волгоград : Панорама, 2015. – 433 с.
7. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности: Экологические нормы и правила РБ: ЭкоНиП 17.01.06-001-2017: утв. пост. Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5-Т.
8. Яловая, Н. П. Анализ и прогноз расходов и нагрузок сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации города Бреста / Н. П. Яловая, В. А. Бурко // Перспективные методы очистки природных и сточных вод : сборник статей региональной научно-технической конференции, Брест, 26 сент. 2019 г. / редкол. : С. Г. Белов [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 74–76.

УДК 628.35

Каперейко Д. В., Морозова А. И.

Научные руководители: ст. преподаватель Акулич Т. И.;

к. т. н. Андреюк С. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОСФОТАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД РЕАГЕНТНЫМ МЕТОДОМ

Введение

В настоящее время одной из актуальных задач при очистке сточных вод является удаление биогенных элементов. Повышенное содержание азота и фосфора в воде водных объектов приводит к их эвтрофикации. При этом фосфор оказывает преобладающее воздействие на цветение водных объектов.

В результате очистки сточных вод биологическим методом эффективность по фосфору составляет 78–80 % [1]. При этом процесс биологической очистки очень чувствительный и нестабильный, его сложно организовать при совмещении с процессами нитрификации и денитрификации [2, 3]. Применение химического удаления фосфора позволяет снижать его содержание на 95 % (до 0,5 мг/дм³).

Целью выполненных научных исследований стало установление зависимости эффекта дефосфотации сточных вод от дозы реагента при использовании минеральных реагентов с учетом изменения условий среды. Для достижения поставленной цели ставились следующие задачи исследования:

- 1) изучить теоретические основы реагентного удаления фосфора;
- 2) изучить кинетику процесса химической дефосфотации сточных вод путем проведения исследований по подбору оптимальной дозы реагентов в зависимости от отношения концентрации реагента по металлу к исходной концентрации фосфора (соотношения Me:P);
- 3) провести исследование процесса дефосфотации при различных значениях pH и температуры.

Исследование процесса реагентного удаления фосфоросточных вод проводилось на кафедре водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов учреждения образования «Брестский государственный технический университет» и были выполнены с учетом данных по эксплуатации действующих очистных сооружениях канализации г. Бреста [4].

При проведении исследований использовались методики определения фосфатов, температуры и pH сточных вод, технологические и математические методы с учетом действующих ТНПА.

Сущность реагентного метода дефосфатирования. Применяемые реагенты, их дозы

Сущность метода *химического удаления фосфора* из сточных вод заключается в добавлении реагентов, образовании и осаждении нерастворенных соединений фосфора и вывода их с осадком.

В качестве реагентов могут применяться:

- соединения кальция (оксид кальция CaO и гидроксид кальция Ca(OH)₂);
- соединения алюминия (сульфат алюминия Al₂(SO₄)₃·18H₂O, оксихлорид алюминия Al₂(OH)₅Cl и др.);
- соединения железа (хлорид железа (III) FeCl₃·6H₂O, сульфат железа (II) FeSO₄·7H₂O и др.);
- природные материалы (глины, известняк, цеолит, доломит и др.);
- отходы производства (доменный шлак, осадок водопроводных очистных сооружений).

Применение **солей алюминия** в качестве реагентов для химического удаления фосфора описывается следующей реакцией:



Требуемое количество алюминия на грамм фосфора может также быть получено из молярного отношения Al:P следующим образом: молярное соотношение Al к P – 1:1, весовое отношение Al:P = 27:31 = 0,87:1.

Применение **солей железа** в качестве реагентов для химического удаления фосфора описывается следующей реакцией:



Молярное соотношение Fe:P=1:1, весовое отношение Fe:P = 56:31 = 1,8:1.

Однако на практике для достижения более высокого эффекта дефосфотации приходится использовать большую дозу реагента, чем полученную по стехиометрическим соотношениям. При расчете это отображается коэффициентом β -фактор, входящем в формулу дозы реагента.

Доза реагента (по металлу) X_{Me} , мг/дм³, рассчитывается из выражения:

$$X_{Me} = \beta \cdot \frac{X_{P, Prec} \cdot AM_{Me}}{AM_P}, \text{ мг / дм}^3, \quad (3)$$

где $X_{P, Prec}$ – количество фосфора, которое необходимо удалить за счет химического осаждения, мг/дм³;

AM_{Me} – атомная масса металла, входящего в состав реагента, мг/моль, для Al – 27 мг/моль, для Fe – 56 мг/моль;

AM_P – атомная масса фосфора, мг/моль, принимается 31 мг/моль;

β -фактор – коэффициент, учитывающего превышение фактического количества реагента, требуемого для осаждения 1 моля фосфора, моль/моль, над расчетным стехиометрическим количеством.

Доза реагента (по чистому реагенту) $D_{реаг.}$, мг/дм³, рассчитывается:

$$D_{реаг.} = \frac{X_{Me} \cdot MM_{реаг.}}{MM_{Me}}, \text{ мг / дм}^3, \quad (4)$$

где $MM_{реаг.}$ – молекулярная масса реагента, мг/моль, для сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ – 666 мг/моль, для хлорида железа (III) $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ – 270,5 мг/моль, для сульфата железа (III) $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ – 562 мг/моль, для оксихлорида алюминия $Al_2(OH)_5Cl$ – 174,5 мг/моль;

MM_{Me} – молекулярная масса металла, входящего в состав реагента, мг/моль.

На процесс химического удаления фосфора влияет ряд факторов, определяющими являются стехиометрическая доза реагента; β -фактор; значение рН-среды; температура среды; метод осаждения; реализация процессов разделения фосфорного осадка и водной среды [5].

Исследование эффективности применения минеральных реагентов для дефосфотации воды при различных условиях протекания процесса

В рамках экспериментальных исследований процесса дефосфотации сточных вод осуществлялся подбор оптимальной дозы реагента с учетом значения рН и температуры обрабатываемой воды, а также β -фактора, учитывающего превышение фактического количества реагента, требуемого для осаждения 1 моля фосфоранад расчетным стехиометрическим количеством.

При проведении исследований в качестве имитата загрязненной воды использовали водопроводную воду с добавкой фосфатов в количестве 10 мг/дм³. Обработка воды осуществлялась реагентом Аква Аурат 30 (Al_2O_3 30 %) в виде 1 %-го раствора.

В таблице 1 представлены результаты влияния дозы вводимого реагента на остаточную концентрацию фосфатов при разных значениях рН при температуре сточной воды 10 °С.

Таблица 1 – Влияние рН и дозы вводимого реагента эффект удаления фосфатов при температуре 10 °С

Водородный показатель рН	Остаточная концентрация фосфатов (C_p) и эффект удаления (\mathcal{E}_p) при β -факторе					
	1		1,5		2,0	
	C_p , мг/дм ³	\mathcal{E}_p , %	C_p , мг/дм ³	\mathcal{E}_p , %	C_p , мг/дм ³	\mathcal{E}_p , %
6,5	3,20	68	2,11	78,9	1,22	87,8
7,5	3,12	68,8	1,98	80,2	1,46	85,4
8,5	3,00	70	2,00	80	1,55	84,5

Также опытным путем устанавливалось влияние дозы вводимого реагента на остаточную концентрацию фосфатов при разных значениях температуры при рН сточной воды 6,5. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние температуры и дозы вводимого реагента эффект удаления фосфатов при рН 6,5

Температура, °С	Остаточная концентрация фосфатов (C_p) и эффект удаления (\mathcal{E}_p) при β -факторе					
	1		1,5		2,0	
	C_p , мг/дм ³	\mathcal{E}_p , %	C_p , мг/дм ³	\mathcal{E}_p , %	C_p , мг/дм ³	\mathcal{E}_p , %
10	3,20	68	2,11	78,9	1,22	87,8
15	2,94	70,6	1,85	81,5	0,98	90,2
20	2,46	75,4	1,74	82,6	0,85	91,5

Графики зависимостей представлены на рисунках 1, 2.

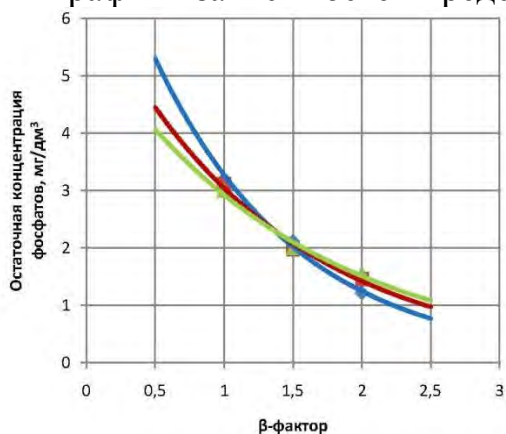


Рисунок 1 – Зависимость остаточной концентрации фосфатов от β -фактора при различном параметре рН и температуре воды 10 °С

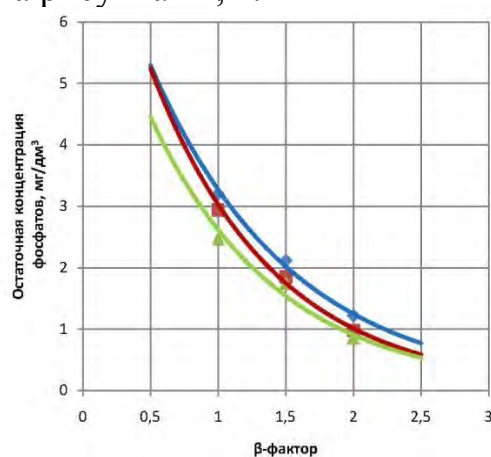


Рисунок 2 – Зависимость остаточной концентрации фосфатов от β -фактора при различной температуре воды и параметре рН 6,5

Заключение

По результатам экспериментальных и расчетных данных установлены зависимости остаточной концентрации фосфатов от дозы алюминийсодержащего реагента при различных параметрах среды.

При проведении исследований по обработке модельного раствора с концентрацией фосфатов 10 мг/дм³ реагентом Аква Аурат 30 установлено:

– с увеличением дозы коагулянта (увеличение значения β -фактора) достигается эффект очистки от 68 до 91,5 %;

– максимальный эффект удаления фосфатов находится при рН в пределах 6,5–7,5;

– эффективность дефосфатации с ростом температуры увеличивается, максимальный эффект имеет место при температуре 20 °С.

Для установления оптимальных значений параметров реагентной дефосфатации необходимо разработать математическую модель данного процесса, которая позволит подобрать оптимальную дозу коагулянта в зависимости от отношения концентрации реагента по металлу к исходной концентрации фосфора (β -фактор) при различных значениях водородного показателя рН и температуры обрабатываемой среды.

Список цитированных источников

1. Мешенгиссер, Ю. М. Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод / Ю. М. Мешенгиссер. – М. : ООО «Издательский дом «Вокруг цвета», 2012. – 211 с.

2. Цап, К. В. Повышение эффективности и надежности биологической очистки сточных вод на действующих аэротенках / К. В. Цап, А. И. Морозова // Устойчивое развитие: региональные аспекты: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых, Брест, 22–23 апреля 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; под ред. А. А. Волчека и [др.]. – Брест : БрГТУ, 2021. – 249 с.

3. Каперейко, Д. В. Анализ эффективности работы городских канализационных очистных сооружений / Д. В. Каперейко, А. А. Хведченя, Я. В. Полешук // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : сб. науч. тр. по материалам IX Всероссийской (с междунар. участием) науч. техн. конф. / сост. В. В. Корунчикова, Л. С. Новопольцева; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2022.

4. Яловая, Н. П. Анализ и прогноз расходов и нагрузок сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации города Бреста / Н. П. Яловая, В. А. Бурко // Перспективные методы очистки природных и сточных вод : сборник статей рег. научно-технической конференции, Брест, 26 сент. 2019 г. / редкол.: С. Г. Белов [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 74–76.

5. Морозова, А. И. Математическое описание процесса реагентного удаления фосфора на действующих очистных сооружениях / А. И. Морозова, И. В. Зубрицкая // Сборник тезисов научной студенческой конференции «Неделя науки – 2021» / УО «Брестский государственный технический университет»; редкол. : Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : Издательство БрГТУ, 2021. – С. 68–69.

УДК 628.161.2, УДК 628.147.2

Хведченя А. А., Мацкович О. А.

Научные руководители: к. т. н. Андreyuk С. В.;

ст. преподаватель Наумчик Г. О.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД

Введение

Во многих регионах РБ содержание железа в воде для большинства источников водоснабжения превышает допустимое рекомендациями СанПиН 2.1.4.1074-01. Ограничение на содержание железа в питьевой воде имеет ПДК, равным

0,3 мг/л. Обезжелезивание является одной из самых насущных задач водоподготовки. Содержание железа в разных источниках водоснабжения значительно отличается как по форме соединений железа, так и по его суммарной концентрации.

В поверхностных водах железо обычно встречается в виде органических и минеральных комплексных соединений, либо коллоидных или тонкодисперсных взвесей. Преобладающей формой существования железа в подземных водах является бикарбонат железа (II), который устойчив только при наличии значительных количеств уголекислоты и отсутствии растворенного кислорода. Наряду с этим железо встречается в виде сульфида, карбоната и сульфата железа (II), комплексных соединений с гуматами и фульвокислотами. Наряду с железом в подземной воде могут присутствовать марганец и сероводород, которые также необходимо удалять. Гидроксид железа может присутствовать в воде в коллоидном состоянии, которое является одной из основных форм существования. Железо может быть переведено из этого комплекса в осадок двумя путями: естественным – при участии бактерий, разрушающих органическое вещество, и искусственным – в том числе с помощью сильных окислителей (таких как озон, хлор), уничтожающих защитные коллоиды.

Целью выполненных научных исследований стало интенсификация работы и реконструкция технологических схем обезжелезивания водоочистных сооружений а-г. Медно и на погранпереходе «Домачево». Для достижения поставленной цели ставились следующие задачи исследования:

- 1) обследования существующих коммуникаций водопроводной сети и сооружений обезжелезивания а-г. Медно и погранперехода «Домачево»;
- 2) проведение экспериментальных исследований по пробному обезжелезиванию воды с целью реконструкции технологии обезжелезивания воды и разработки соответствующих рекомендаций.

Существующее состояние системы водоснабжения агрогородка Медно

Существующая система водоснабжения агрогородка Медно состоит из двух скважин, водонапорной башни и водопроводной сети. Удаления избыточного количества железа из воды и обеззараживания воды нет. Вода от скважины подается в водонапорную башню. Система автоматики включает скважинный насос при минимальном уровне воды в водонапорной башне и выключает при максимальном уровне воды в башне. Производительность каждой скважины составляет $10 \text{ м}^3/\text{ч}$. Одна скважина рабочая, другая резервная. Среднесуточное водопотребление агрогородка Медно составляет — $120 \text{ м}^3/\text{сут}$. Объем бака башни 45 м^3 , высота ствола башни 24 м. Расход воды, подаваемой на станцию обезжелезивания, равен расходу воды скважинного насоса и составляет $10,3 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Пробное обезжелезивание

С целью разработки рекомендаций по проектированию станции обезжелезивания было выполнено пробное обезжелезивание воды, подаваемой из существующих скважин.

Для отбора пробы конец шланга опускался на дно пятилитровой емкости и открылся кран. В результате этого наполнение емкости осуществлялось без аэрации, т. к. налив происходил «под уровень». Наполнение осуществлялось до

перелива воды из емкости, после этого извлекался шланг и емкость закрывалась пробкой так, чтобы под пробкой не было пузырьков воздуха. Таким образом осуществлялся отбор пробы воды без аэрации. В лаборатории анализ осуществлялся методом, использующим в качестве основного реагента роданид калия. Для выполнения анализа был построен калибровочный график зависимости концентрации железа от оптической плотности на длине волны 500 нм.

В результате анализа исходной воды было обнаружено, что концентрация железа в ней составляет — 1,6 мг/л. Это более чем в 5 раз превышает норму. Далее брали пробу воды и проводили аэрацию, затем несколько минут выдерживали для укрупнения хлопьев железа, образовавшихся в результате реакции окисления двухвалентного железа кислородом воздуха и отфильтровывали на фильтре, имеющем диаметр пор около 5 мкм (синяя лента). Затем определяли концентрацию железа в отфильтрованной пробе. В результате анализа было установлено, что концентрация железа в аэрированной и отфильтрованной пробе составляет 0,45 мг/л, что превышает нормативное значение (0,3 мг/л). Это свидетельствует о том, что часть железа содержится в виде железоорганических комплексов, которые кислород воздуха не окисляет. Однако в реальных фильтрах в толще загрузки живут железобактерии, которые могут разрушать железо-органические комплексы, поэтому обезжелезивание на реальных фильтрах может быть лучше, чем при механическом фильтровании через бумажный фильтр в лабораторных условиях. Следует отметить, что при промывке реального фильтра происходит частичное вымывание железобактерий из толщи загрузки, поэтому сразу после промывки фильтра концентрация железа в воде может не соответствовать нормативному значению. Далее в процессе восстановления пленки железобактерий при работе фильтров после их промывки концентрация железа в фильтрате может вновь достичь нормативного значения. Для более устойчивой работы фильтра обезжелезивания при использовании кислорода воздуха необходимо чтобы скорость фильтрования не превышала 7...8 м/ч.

При проектировании станции обезжелезивания необходимо обеспечить качественное введение кислорода в обрабатываемую воду, которое должно производиться с помощью смесителя, обеспечивающего эффективное смешение воздуха с обрабатываемой водой. Эффективное смешение подаваемого воздуха с обрабатываемой водой позволяет достичь хорошего растворения кислорода воздуха в воде, что необходимо для осуществления реакции, в результате которой железо, находящееся в воде в растворенном виде в двухвалентной форме, окислится кислородом воздуха до трехвалентной формы, которая нерастворима в воде и выпадает в осадок, который может быть задержан в толще загрузки скорых фильтров с зернистой загрузкой. Узел введения воздуха в обрабатываемую воду должен позволять получать мелкие пузыри, распределенные по всему объему обрабатываемой жидкости. В результате этого будет осуществляться эффективное растворение кислорода воздуха в обрабатываемой воде и протекать реакция окисления железа, находящегося в воде в двухвалентной форме. В результате данной реакции будет образовываться гидроксид железа (III) по уравнению реакции $4\text{Fe}^{2+} + 3\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$, который будет задерживаться в толще зернистой загрузки скорых фильтров.

Поскольку в результате исследований выяснилось, что кислород воздуха не может окислить все железо, находящееся в воде, было выполнено исследование удаления железа с использованием озона в качестве дополнительного окислителя.

Дозирование озона в воду осуществлялось за счет контроля расхода озонированного газа с помощью газосчетчика и концентрации озона в озонированном газе с помощью озономера Медозон 254/5. Далее озонированную пробу отфильтровали на фильтре, имеющем диаметр пор около 5 мкм. Затем определили концентрацию железа в отфильтрованной пробе. На основе выполненных исследований был построен график зависимости остаточной концентрации железа в обрабатываемой воде от дозы озона, представленный на рисунке 1.

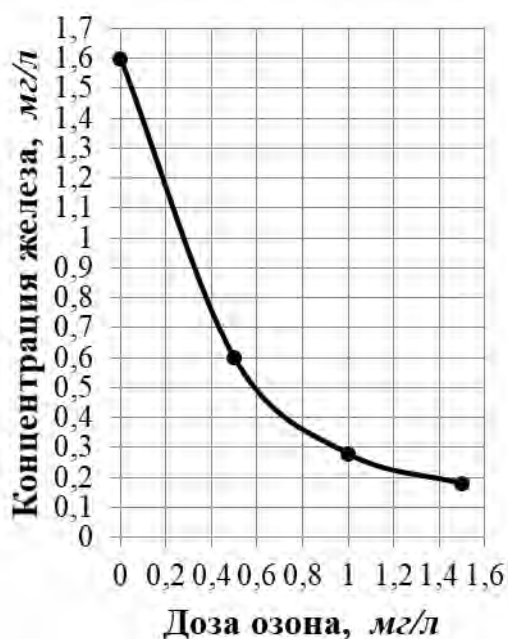


Рисунок 1 – Зависимость остаточной концентрации железа общего в обрабатываемой воде от дозы озона

Как видно из рисунка, озон позволяет гарантированно достичь нормативного значения концентрации железа в обрабатываемой воде, поскольку озон является более сильным окислителем, чем кислород воздуха. Озон гарантированно окисляет железоорганические комплексы.

Существующее состояние оборудования станции водоподготовки на погранпереходе «Домачево»

Существующая система водоподготовки, установленная на погранпереходе «Домачево», находится в нерабочем состоянии и не эксплуатируется уже более пяти лет. Проектная производительность существующей станции 10 м³/ч.

Водоподготовка на данной станции сводится к удалению из воды избыточного содержания железа. Подача воды на станцию осуществляется посредством двух скважинных насоса ЭЦВ 6-6,5-80. Подача воздуха осуществляется в вертикально расположенный трубопровод, подающий воду из скважин на фильтры обезжелезивания. Подача воздуха осуществляется с помощью компрессора. Задержание гидроксида железа, образующегося при окислении двухвалентного железа, содержащегося в воде, осуществляется в скорых напорных фильтрах. На станции обезжелезивания в настоящее время находится 3 скорых напорных фильтра, имеющих суммарную производительность 10 м³/ч. Для регенерации каталитической загрузки используется раствор перманганата калия.

По результатам обследования оборудования станции водоподготовки можно сделать вывод, что система введения воздуха в исходную воду не обеспечивает его эффективного смешения с обрабатываемой водой: образуются очень крупные пузыри, обладающие малой площадью контакта с водой и движущиеся вдоль стенки трубы, не перемешиваясь с основным объемом обрабатываемой

воды. Однако именно эффективное смешение подаваемого воздуха с обрабатываемой водой, позволяющее достичь хорошего растворения кислорода воздуха в воде, необходимо для осуществления реакции, в результате которой железо, находящееся в воде в растворенном виде в двухвалентной форме, окислится кислородом воздуха до трехвалентной формы, которая нерастворима в воде и выпадает в осадок, который может быть задержан в толще загрузки скорых фильтров с зернистой загрузкой. Поэтому основной причиной неудовлетворительной работы станции обезжелезивания может являться неправильная конструкция узла введения воздуха в обрабатываемую воду. Узел введения воздуха в обрабатываемую воду должен позволять получать мелкие пузыри, распределенные по всему объему обрабатываемой жидкости. В результате этого будет осуществляться эффективное растворение кислорода воздуха и протекать реакция окисления железа, находящегося в воде в двухвалентной форме. В результате данной реакции будет образовываться гидроксид железа (III), который будет задерживаться в толще зернистой загрузки скорых фильтров.

Рекомендации по интенсификации работы и реконструкции технологических схем обезжелезивания подземных вод а-г. Медно и на погранпереходе «Домачево»

1. Для обеспечения необходимых условий, способствующих удалению железа, содержащегося в виде железоорганических комплексов, и более устойчивой работы фильтра обезжелезивания при использовании кислорода воздуха необходимо поддерживать скорость фильтрования не более 7...8 м/ч. При проектировании и эксплуатации станции обезжелезивания требуется обеспечить качественное введение кислорода в обрабатываемую воду, которое должно производиться с помощью смесителя, обеспечивающего эффективное смешение воздуха с обрабатываемой водой. Узел введения воздуха в обрабатываемую воду должен обеспечивать получение мелких и равномерно распределенных по объему обрабатываемой воды пузырьков.

2. В качестве альтернативной технологии обезжелезивания подземных вод а-г. Медно предлагается использовать озон дополнительно к кислороду воздуха. Озон гарантированно окисляет железоорганические комплексы. Кроме этого, озон способствует обеззараживанию обрабатываемой воды.

3. Разработана альтернативная технология обезжелезивания на погранпереходе «Домачево». На первом этапе следует произвести струйную аэрацию в баке-отстойнике, где происходит реакция окисления двухвалентного железа до трехвалентного, а также укрупнение образовавшихся нерастворимых частиц гидроксида железа и частичное осаждение гидроксида железа на дно отстойника. Далее осветленную в отстойнике воду с помощью насоса следует подавать в фильтры, оборудованные полипропиленовыми картриджами, имеющими размер пор 5 мкм, которые позволят гарантированно снизить содержание загрязняющих веществ до нормативных значений. Кроме того, данные картриджи будут долговечнее за счет того, что основное количество железа, содержащегося в воде, будет задерживаться в баке-отстойнике. Степень кальматации картриджей контролируется с помощью манометров. Закальматированные картриджи необходимо будет заменять на новые. Это позволит обходиться без корпусов напорных фильтров и без сложной дорогостоящей автоматики, необходимой для осуществления автоматической промывки фильтров.

Заключение

Наличие железа в природных водах в концентрациях, превышающих предельно допустимые, является дополнительным фактором, определяющим состав технологической схемы водоподготовки. Традиционные схемы обезжелезивания и деманганации методом аэрации с фильтрованием на песчаных фильтрах не всегда позволяют достигнуть требуемый эффект очистки воды. Наряду с недостатками эксплуатационного характера технологические схемы обезжелезивания и деманганации требуют разработки мероприятий по интенсификации процессов водоподготовки. Актуальными являются исследования по интенсификации работы и реконструкции технологических схем водоподготовки централизованных и нецентрализованных систем водоснабжения с применением окислительно-сорбционных технологий очистки воды.

В результате выполненных научных исследований было обследовано и проанализировано существующее состояние коммуникаций водопроводной сети и сооружений водоподготовки а-г. Медно и погранперехода «Домачево»; проведены экспериментальные исследования по пробному обезжелезиванию; разработаны рекомендации с целью реконструкции технологической схемы обезжелезивания воды и интенсификации работы соответствующих водоочистных сооружений.

Список цитированных источников

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь: статистический сборник / под общ. ред. И. В. Медведевой. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2020. – 202 с.
2. Житенев, Б. Н. Технологические схемы обесцвечивания и обезжелезивания поверхностных вод Белорусского Полесья для использования в целях технического водоснабжения / Б. Н. Житенев, С. В. Андреюк // Сборник материалов Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 18–20 апреля 2012 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2012. – С. 101–103.
3. Наумчик, Г. О. Разработка метода точного дозирования высоких удельных доз озона при обработке воды / Г. О. Наумчик, С. Г. Белов // Вестник БрГТУ. – 2011. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 73–81.

УДК 696.1

Адамов И. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Таратенкова М. А.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАРУЖНЫХ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

В настоящее время все большую популярность приобретают технологии информационного моделирования строительных объектов. Информационное моделирование здания – это подход к возведению, оснащению, обеспечению эксплуатации и ремонту здания, который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми её

взаимосвязями и зависимостями, когда здание и всё, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект [1]. Лучше всего данная технология описывается на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема информационной модели здания [2]

Проектирование и монтаж инженерных систем является неотъемлемой частью строительства. Наружные инженерные сети и трубопроводы являются линейно-протяженными объектами при проектировании, строительстве и эксплуатации которых предъявляются высокие требования. Поэтому ошибки и неточности могут существенно затянуть сроки сдачи объект в эксплуатацию. Оптимальным вариантом решения может стать создание модели этих систем на этапе проектирования, что позволит свести погрешности проектирования до нуля и облегчить процесс монтажа.

До сих пор проектирование наружных систем водоснабжения и водоотведения ведется преимущественно в программных комплексах, позволяющие получить 2D-модели данных объектов. Точность и объективность которых зависит от навыков и опыта проектировщика. Применение же BIM-технологий позволит свести к минимуму человеческий фактор при проектировании.

Использование данных технологий в Республике Беларусь сопряжено с рядом вопросов, требующих детальной проработки. Основной вопрос заключается в том, что для BIM-технологий необходимо программное обеспечение. Разработчиками данного продукта и стандартов выступают страны Европы и США, которые учитывают особенности взаимоотношений субъектов строительства в этих странах. Отсутствие привязки к отечественным стандартам приводит к формированию 3D-модели, которую невозможно применить на

практике. Возникает потребности в адаптации данных технологий для нашей республики [3].

На сегодняшний день в стадии согласования находится проект Указа Президента Республики Беларусь «О цифровой трансформации управления жизненным циклом объектов строительства». После подписания Указа будет подготовлен проект постановления Совета Министров Республики Беларусь «О применении технологии информационного моделирования объектов строительства» и согласно данному постановлению с 2023 года все субъекты хозяйствования обязаны при проектировании и строительстве зданий и инженерных сооружений выполнять на основании BIM – технологии. Разработаны следующие BIM-стандарты:

– СТБ ISO TS/12911-2015 «Основные положения руководства по информационному моделированию зданий (ISO/TS 12911:2012, IDT). Но в настоящее время он уже требует актуализации и доработки.

– Образовательный стандарт Республики Беларусь ОСРБ1-530171-2015. Переподготовка руководящих работников.

Создается государственная библиотека базовых элементов, которая будет размещена на Госстройпортале. Ведется работа по обеспечению обязательного представления данных от производителей и поставщиков (по определенным принципам) в библиотеку. Таким образом, планируется создать актуальную базу данных по всей продукции реализуемой и используемой для строительства в Республике Беларусь. На базе программного комплекса AutodeskRevitразработана 3D-модель квартала, состоящего из 4 частных жилых домов, (рисунок 2). Для каждого дома разработан архитектурно-строительный конструктив и выполнен минималистичный дизайн-проект всех комнат домов квартала.



Рисунок 2 – Модель квартала

Каждый дом подключен к центральному водопроводу и канализации через соответствующие колодцы, находящиеся на приусадебном участке. Внутриквартальные сети водоснабжения и канализации представлены в виде информационной модели и показаны на рисунке 3. Выполненная 3D-визуализация позволяет изучить объект до его строительства и, при необходимости, внести коррективы.

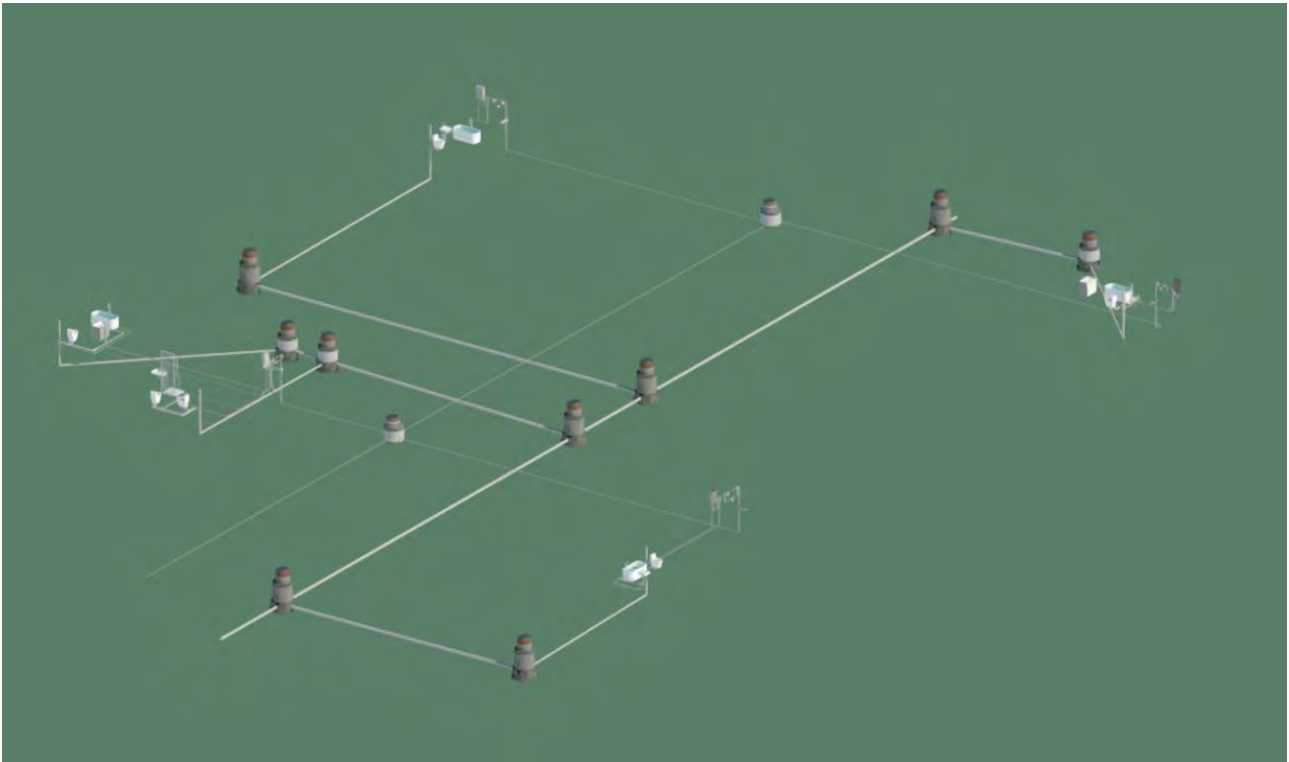


Рисунок 3 – Схема подключения домов к центральному водопроводу и канализации

Внутри каждого дома запроектированы ваннные, туалетные и котельные помещения, в которых разработаны модели подключения санитарно-технических приборов и инженерных сетей водопровода и канализации. По-мимо чертежей и моделей проектируемых инженерных сетей и сооружений, на них получены спецификации оборудования и ведомости материалов, применяемых в проекте. В ходе выполнения проекта были получены спецификации сантехнического оборудования, фасонных частей и трубопроводов запроектированных сетей водопровода и канализации. В качестве примера приведен фрагмент одной из спецификаций (рисунок 4).

Трубопроводы					
А	В	С	D	E	F
Наименование объединенных параметров	Марка	Единица измер	Днар., мм	tпр., мм	Длина без запаса
Трубы стальные обыкновенные водогазопроводные без цинкового покрытия, Д=15х2,8 мм	ГОСТ 3262-75	м.	21,3	2,8	3,8
Трубы стальные обыкновенные водогазопроводные без цинкового покрытия, Д=40х3,5 мм	ГОСТ 3262-75	м.	48	3,5	8,7
Трубы стальные обыкновенные водогазопроводные без цинкового покрытия, Д=15х2,8 мм	ГОСТ 3262-75	м.	21,3	2,8	23,9
Трубы стальные обыкновенные водогазопроводные без цинкового покрытия, Д=25х3,2 мм	ГОСТ 3262-75	м.	33,5	3,2	13,1
Трубы стальные обыкновенные водогазопроводные без цинкового покрытия, Д=32х3,2 мм	ГОСТ 3262-75	м.	42,3	3,2	2,7
Трубы стальные обыкновенные водогазопроводные без цинкового покрытия, Д=40х3,5 мм	ГОСТ 3262-75	м.	48	3,5	179,3
Решение не найдено	ГОСТ 32414-201	м.			234,9
Трубы из полипропилена канализационные раструбные, Д=40 мм	ГОСТ 32414-201	м.	40	1,8	7,8
Трубы из полипропилена канализационные раструбные, Д=50 мм	ГОСТ 32414-201	м.	50	1,8	20,6
Трубы стальные обыкновенные водогазопроводные без цинкового покрытия, Д=15х2,8 мм	ГОСТ 3262-75	м.	21,3	2,8	29,0
Трубы стальные обыкновенные водогазопроводные без цинкового покрытия, Д=15х2,8 мм	ГОСТ 3262-75	м.	21,3	2,8	9,6
Трубы стальные обыкновенные водогазопроводные без цинкового покрытия, Д=15х2,8 мм	ГОСТ 3262-75	м.	21,3	2,8	7,3
Трубы стальные обыкновенные водогазопроводные без цинкового покрытия, Д=15х2,8 мм	ГОСТ 3262-75	м.	21,3	2,8	14,1

Рисунок 4 – Спецификация трубопроводов

Применение информационного моделирования наружных систем водопровода и канализации позволяет получить информационную модель, благодаря кото-

рой минимизируются ошибки и неточности при проектировании данных сетей. Процесс корректировки проекта ускоряется, что снижает сроки проектирования. Наличие 3D-модели значительно упрощает монтаж инженерных систем. Что, свою очередь, снижает сроки и строительства и тем самым снижает издержки.

Список цитированных источников

1. Что такое технология BIM? Ее применение в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fb.ru/article/324833/chto-takoe-tehnologiya-bim-ee-primenenie-v-stoitelstve>.

2. Гримитлин, А. М. Энергетическое моделирование – инструмент повышения энергоэффективности зданий / А. М. Гримитлин, Д. М. Денисихина // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всероссийской научно-практической конференции; СПбГАСУ. – СПб, 2018. – С. 93–97.

3. Таратенкова, М. А. Применение информационного моделирования при проектировании внутренних инженерных систем / М. А. Таратенкова, И. А. Адамов // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, 7–8 октября 2021 года, Брест, Республика Беларусь / ред. кол. А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест :БрГТУ, 2021. – С. 303–310.

УДК 697.12

Шепетуха В. О., Лавринович А. Н.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Новосельцев В. Г.

ПРОБЛЕМЫ ПРИ РАБОТЕ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ И ИХ РЕШЕНИЯ

Исследования проходили на лабораторном стенде (рисунок 1) с двумя разными видами подключения отопительных приборов:

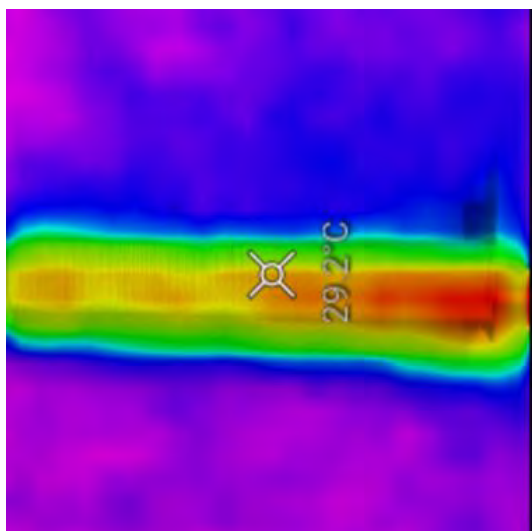
- Горизонтальная двухтрубная СВО (конвектор и стальной-панельный радиатор при диагональном подключении).
- Вертикальная однотрубная СВО (чугунный радиатор со смещенным участком и алюминиевый радиатор с осевым участком).



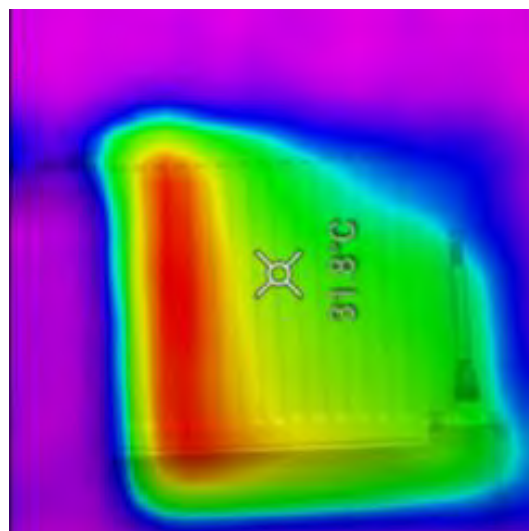
Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда

На каждом приборе мы поддерживали постоянный расход воды в период испытаний.

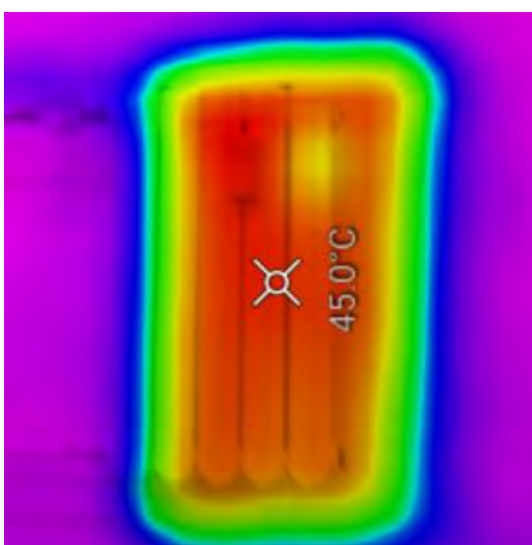
Мы измеряли температуры подающего и обратного трубопровода при подключении радиатора, а также делали тепловизионную съемку каждого прибора. Представлены тепловизионные съемки каждого отопительного прибора (рисунок 2). Воздух в системе есть, и его немало. А значит, отопительный прибор греет хуже, чем должен, так как вся голубая и желтая часть диаграммы показывает, что в этом месте он холодный или слабопрогретый.



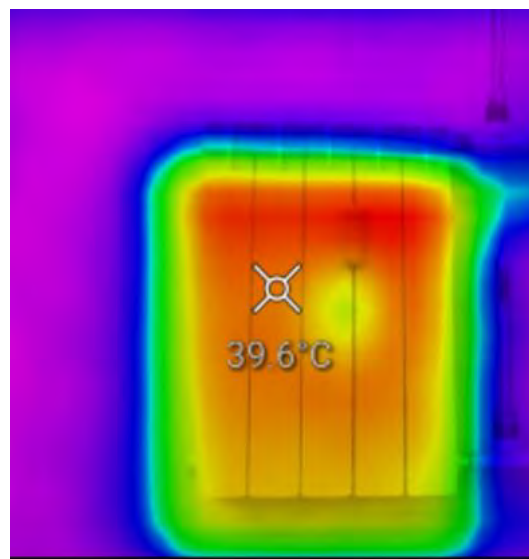
а)



б)



в)

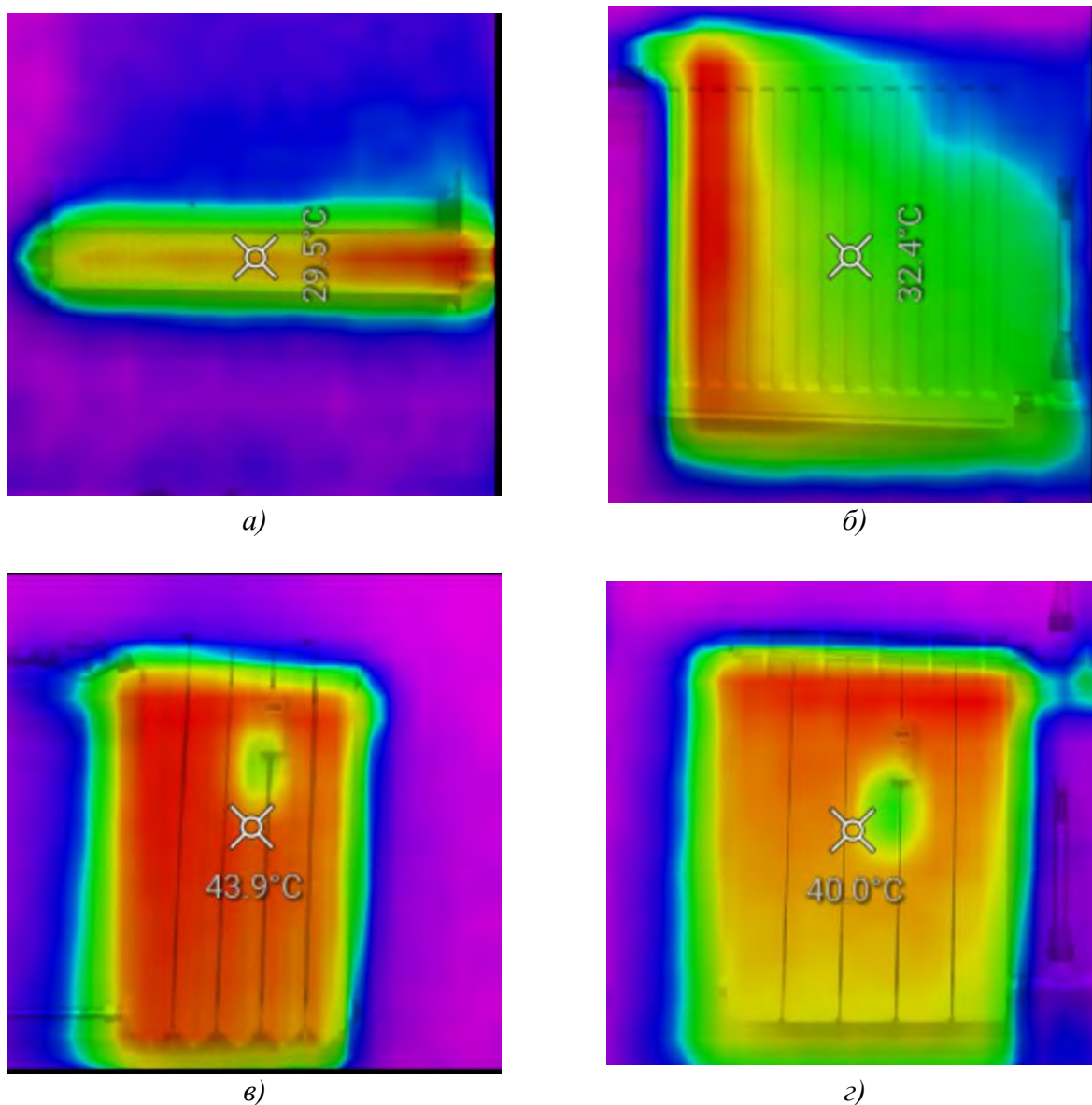


г)

*а – конвектора, б – стального-панельного радиатора,
в – чугунного радиатора, г – алюминиевого радиатора
Рисунок 2 – Тепловизионная съемка отопительных
приборов с наличием воздушных пробок*

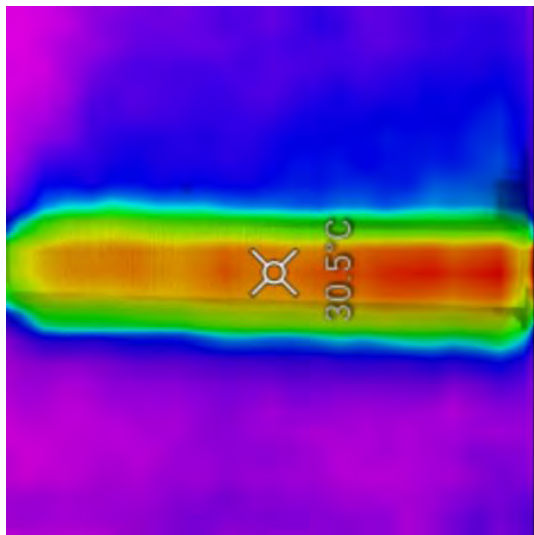
В данном лабораторном стенде насос имеет функцию удаления воздуха с системы водяного отопления. Автоматически увеличивая скорость теплоносителя в систему, воздух вытеснялся. На термограмме видно, что спустя время после данного процесса, некоторое количество воздуха с СВО было вытеснено,

что увеличило эффективность системы отопления, что привело к повышению теплоотдачи и, следовательно, отопительные приборы стали лучше греть. Также был установлен необходимый расход воды и сняты показания температур на подающем и обратном трубопроводе.

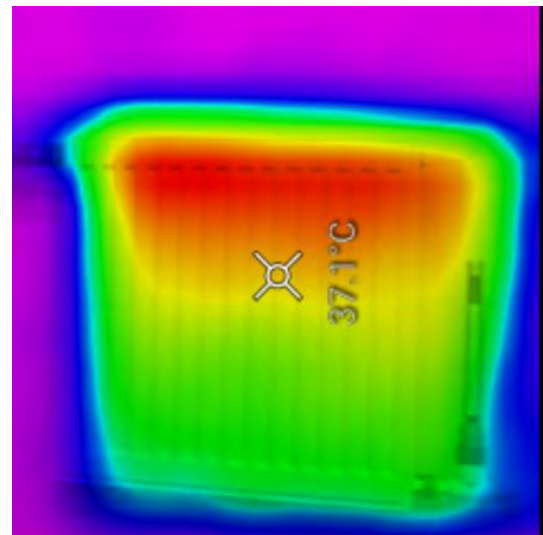


*а – конвектора, б – стального-панельного радиатора,
в – чугунного радиатора, г – алюминиевого радиатора*
Рисунок 3 – Тепловизионная съемка отопительных приборов после удаления воздуха насосом

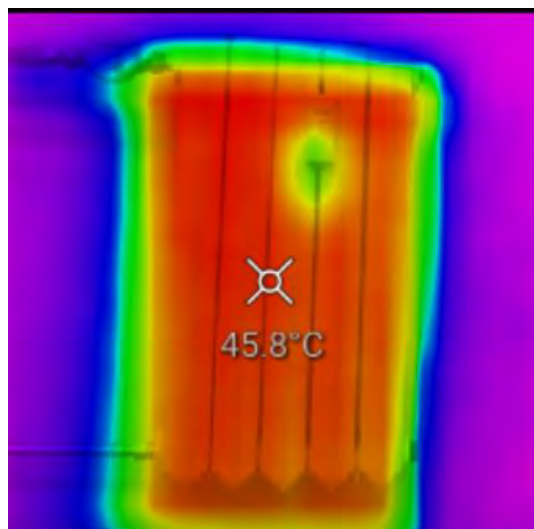
Мы можем увидеть, что отопительные приборы сильнее прогрелись, так как некоторая часть воздуха вышла с системы отопления (рисунок 3). На каждом отопительном приборе есть ручной воздухоотводчик, через который при его открытии, воздух с СВО удаляется. Следующим нашим шагом было то, что мы вручную удалили воздух с каждого отопительного прибора (рисунок 4).



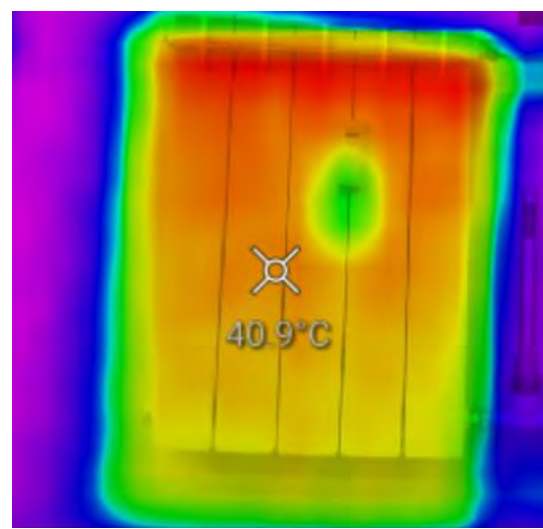
а)



б)



в)



г)

*а – конвектора, б – стального-панельного радиатора,
в – чугунного радиатора, г – алюминиевого радиатора*
**Рисунок 4 – Тепловизионная съемка отопительных приборов
после удаления воздуха ручным воздухоотводчиком**

Таблица 1 – Полученные данные

Отопительный прибор	Расход, кг/ч	Температура подачи, °С	Температура обратки, °С
1	2	3	4
После запуска стенда (опыт 1)			
Конвектор	60	41,5	29,5
Стальной-панельный радиатор	48	41	30,5
Чугунный радиатор	34	47	43,6
Алюминиевый радиатор	20	45,5	39,7
После удаления воздуха насосом (опыт 2)			
Конвектор	60	42,2	28,7
Стальной-панельный радиатор	48	42,3	30,5
Чугунный радиатор	34	48	45
Алюминиевый радиатор	20	46	40,1

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
После удаления воздуха вручную (опыт 3)			
Конвектор	60	43,1	30,5
Стальной-панельный радиатор	48	42,6	29
Чугунный радиатор	34	47,9	45,1
Алюминиевый радиатор	20	46	40,9

Выводы:

1. Воздух, находящийся в отопительных приборах, препятствует циркуляции теплоносителя, что приводит к пониженной теплоотдаче приборов.

2. Приборы были подключены по двум различным схемам: горизонтальной и вертикальной. Данные испытания показали, что из отопительных приборов, горизонтальной системы отопления воздух удаляется хуже, чем в вертикальной. Это связано с расположением приборов и худшими условиями транспортировки воздуха с потоком теплоносителя.

Список цитированных источников

1. Теплоснабжение и вентиляция Курсовое и дипломное проектирования / Б. М. Хрусталев [и др.]. – М. : – Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. – 576 с.

УДК 697.1

Капелрейко Ю. В., Гринько Е. О.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Новосельцев В. Г.

РАСПОЛОЖЕНИЕ НЕЙТРАЛЬНОЙ ТОЧКИ В СИСТЕМЕ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПОРА

В каждом циркуляционном кольце замкнутой системы отопления существует только одна точка постоянного давления, так называемая «нейтральная» точка системы отопления, в которой зона нагнетания сменяется зоной всасывания [1]. Эта точка является наиболее благоприятной для установки в ней расширительного бака, так как статическое динамическое давление в ней равны и резервуар не подвержен «нагнетанию» или «подсасыванию» воды. Однако является ли эта точка постоянной?

Для исследования месторасположения этой точки был использован лабораторный стенд.

Попеременно изменяя сопротивление и размер контура, путем включения в систему отопления дополнительных отопительных приборов, фиксировались значения манометров до и после включения насоса. По изменению давления на каждом из манометров можно судить о наличии зоны всасывания либо нагнетания насоса.

1. В работу включен 1 насос.

Эпюры перепада давления для системы с одним, двумя и тремя радиаторами представлены на рисунках 1, 2, 3.

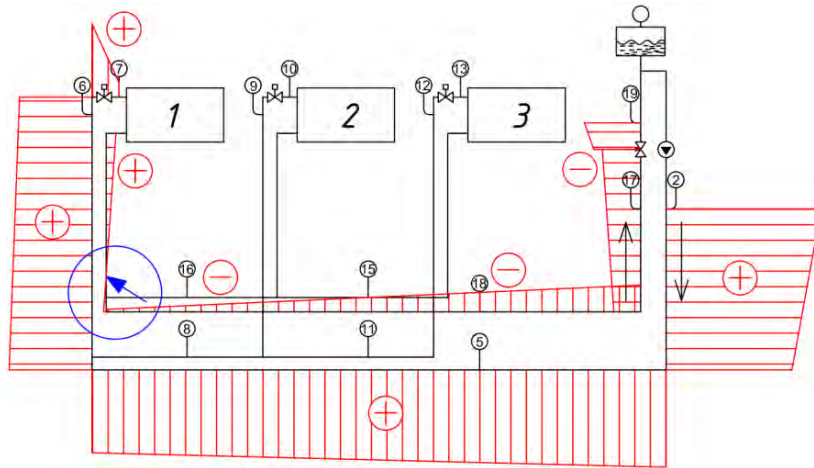


Рисунок 1 – Схема системы отопления с одним насосом и одним радиатором

При включении в систему только одного радиатора точка нулевых давлений находится на «обратке между радиатором № 1 и манометром № 18 .

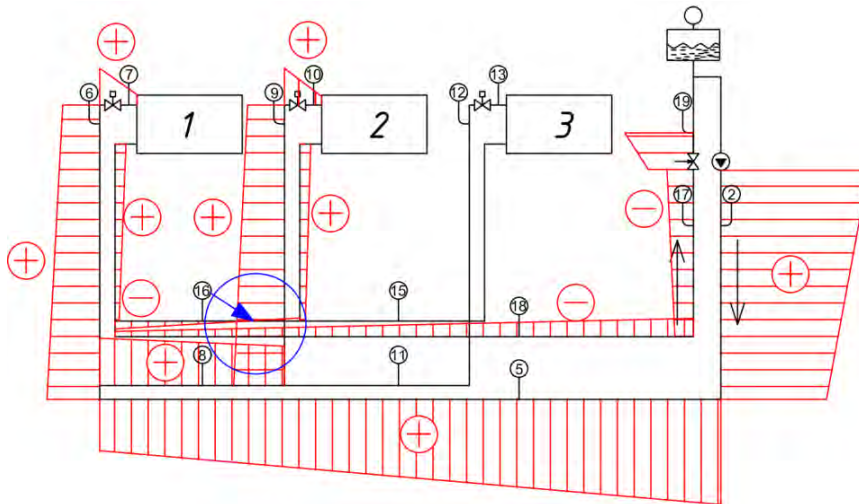


Рисунок 2 – Схема системы отопления с одним насосом и двумя радиаторами

При включении в систему двух радиаторов точка нулевых давлений располагается на «обратке» между радиатором № 2 и манометром № 16.

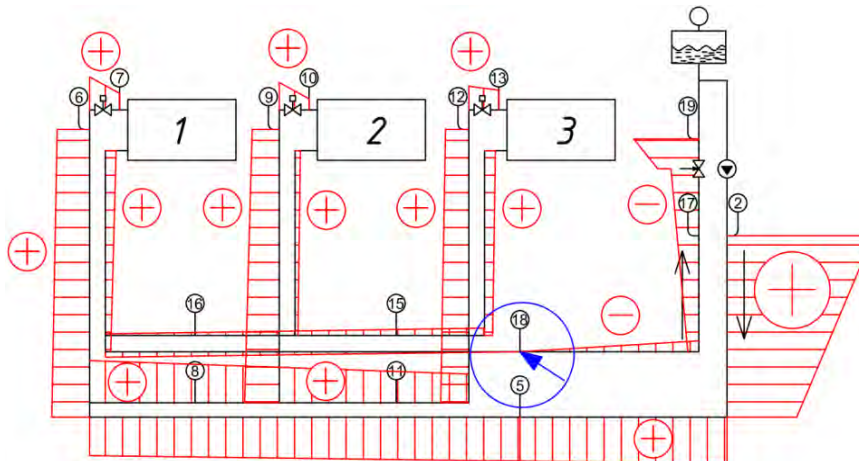


Рисунок 3 – Схема системы отопления с одним насосом и тремя радиаторами

При включении в систему трёх радиаторов точка нулевых давлений находится на «обратке», в месте расположения манометра № 18.

Вывод: при добавлении в систему отопления дополнительных сопротивлений, точка нулевых давлений смещается ближе к всасывающему патрубку насоса.

2. В работу включены 2 насоса (т. е. напор увеличился в 2 раза).

Эпюры перепада давления для системы с одним, двумя и тремя радиаторами представлены на рисунках 4, 5, 6.

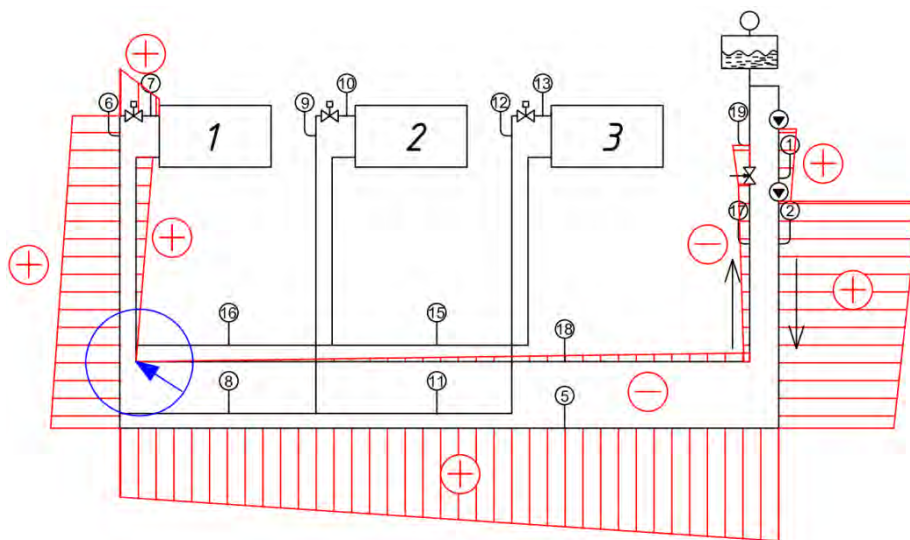


Рисунок 4 – Схема системы отопления с двумя насосами и одним радиатором

При включении в систему только одного радиатора точка нулевых давлений находится на «обратке» между радиатором № 1 и манометром № 18.

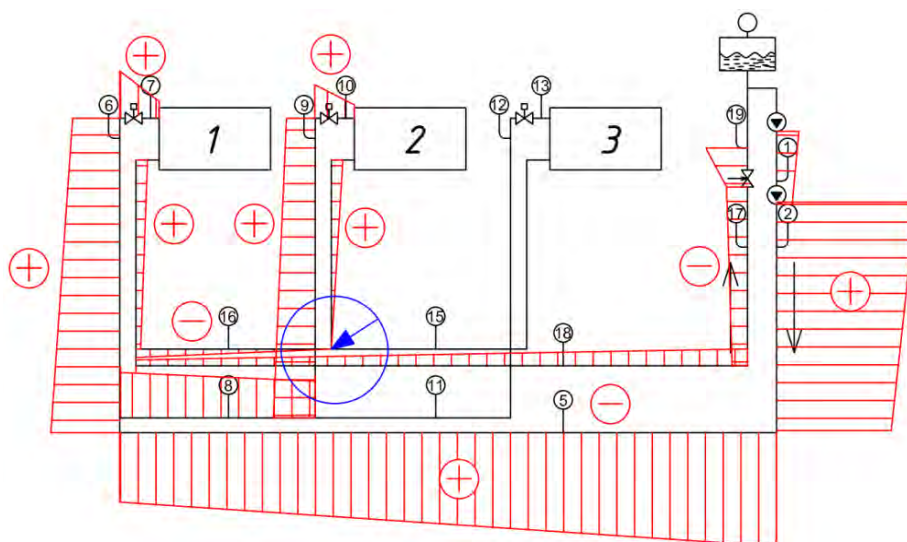


Рисунок 5 – Схема системы отопления с двумя насосами и двумя радиаторами

При включении в систему двух радиаторов точка нулевых давлений располагается на «обратке» между радиатором № 2 и манометром № 16.

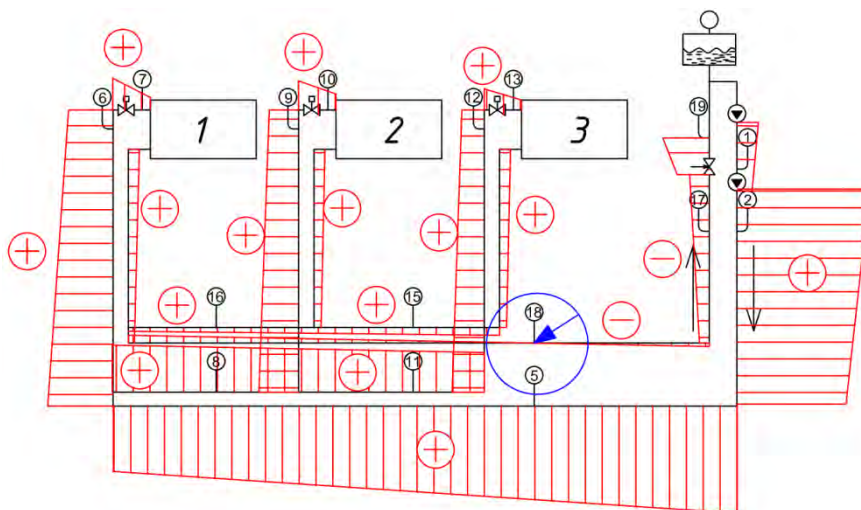


Рисунок 6 – Схема системы отопления с двумя насосами и тремя радиаторами

При включении в систему трёх радиаторов точка нулевых давлений находится на «обратке», в месте расположения манометра № 18.

Вывод: при добавлении в систему сопротивлений даже с увеличением напора точка нулевых давлений оставалась в аналогичных местах, как и при меньшем напоре. То есть напор насоса в рассматриваемом случае не повлиял на месторасположение точки нулевых давлений.

Таким образом, расширительный бак лучше всего располагать на всасывающей стороне насоса.

Список цитированных источников

1. Сканави, А. Н. Отопление: учебник для вузов / А. Н. Сканави, Л. М. Махов. – М. : Издательство АСВ, 2008. – 576 с.

УДК 697.1

Каперейко Ю. В.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Новосельцев В. Г.

РАСПОЛОЖЕНИЕ НЕЙТРАЛЬНОЙ ТОЧКИ В СИСТЕМЕ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ ТЕРМОСТАТИЧЕСКИХ КЛАПАНОВ

Современные системы отопления проектируют и строят в большинстве с независимым подключением к централизованной тепловой сети. Такие системы являются более надежными, удобными в эксплуатации, экономичными, а также в случае особенностей системы отопления в здании такое подключение позволяет использовать теплоноситель, отличный от теплоносителя в централизованной тепловой сети. Такая схема подключения широко используется для подключения к системе отопления многоэтажных зданий или построек, которые требуют повышенного уровня надежности работы отопительного механизма.

Как известно, при нагревании тела имеют свойство расширяться. Вода внутри замкнутого отопительного контура то уменьшается, то увеличивается в объеме. Это происходит во время регуляции температуры и расхода теплоносителя

в системе отопления. А так как вода является практически несжимаемой средой, то давление в системе начинает так же быстро увеличиваться или уменьшаться. Избыточное давление может неблагоприятно влиять на все элементы системы. Поэтому, чтобы обезопасить систему от выхода из строя её составляющих, одним из элементов замкнутого отопительного контура является расширительный бак.

В каждом циркуляционном кольце замкнутой системы отопления существует только одна точка постоянного давления, так называемая «нейтральная» точка системы отопления, в которой зона нагнетания сменяется зоной всасывания [1]. Эта точка является наиболее благоприятной для установки в ней расширительного бака, так как статическое динамическое давление в ней равны и резервуар не подвержен «нагнетанию» или «подсасыванию» воды. Однако является ли эта точка постоянной?

Для исследования месторасположения этой точки был использован лабораторный стенд.

Попеременно изменяя сопротивление контура, фиксировались значения манометров до и после включения насоса. По изменению давления на каждом из манометров можно судить о наличии зоны всасывания либо нагнетания насоса.

Эпюра перепада давления для системы с тремя радиаторами и двумя насосами представлена на рисунке 1.

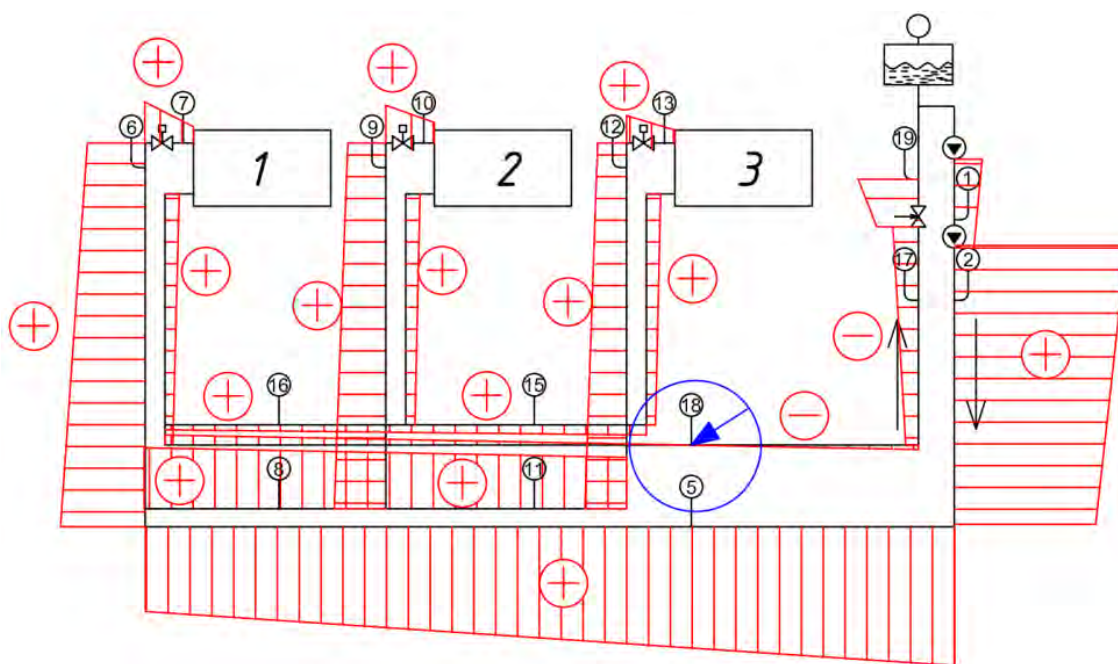


Рисунок 1 – Схема системы отопления с двумя насосами и тремя радиаторами

При включении в систему трёх радиаторов точка нулевых давлений находится на «обратке», в месте расположения манометра № 18.

Так как современные системы отопления проектируют с термостатическими клапанами на отопительных приборах, то в процессе работы системы отопления эти клапаны начинают прикрываться. Рассмотрим вариант, где термостатический клапан на радиаторе № 2 прикрылся на 50 % (рисунок 2) и на 100 % (рисунок 3).

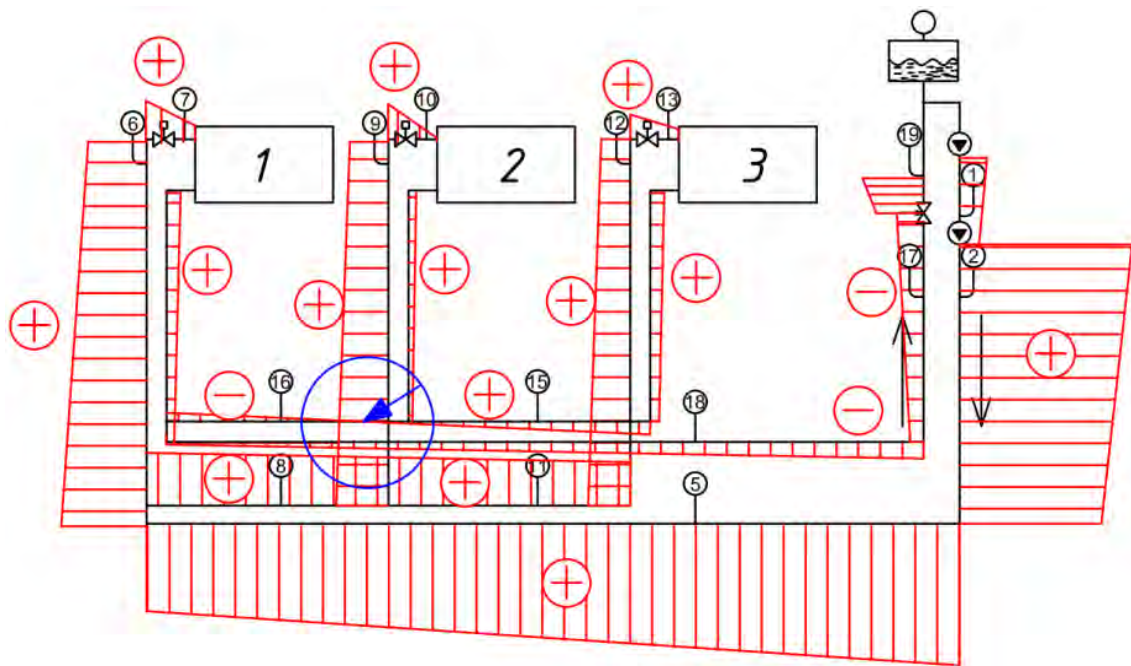


Рисунок 2 – Схема системы отопления с двумя насосами и тремя радиаторами (клапан на радиаторе № 2 прикрыт на 50 %)

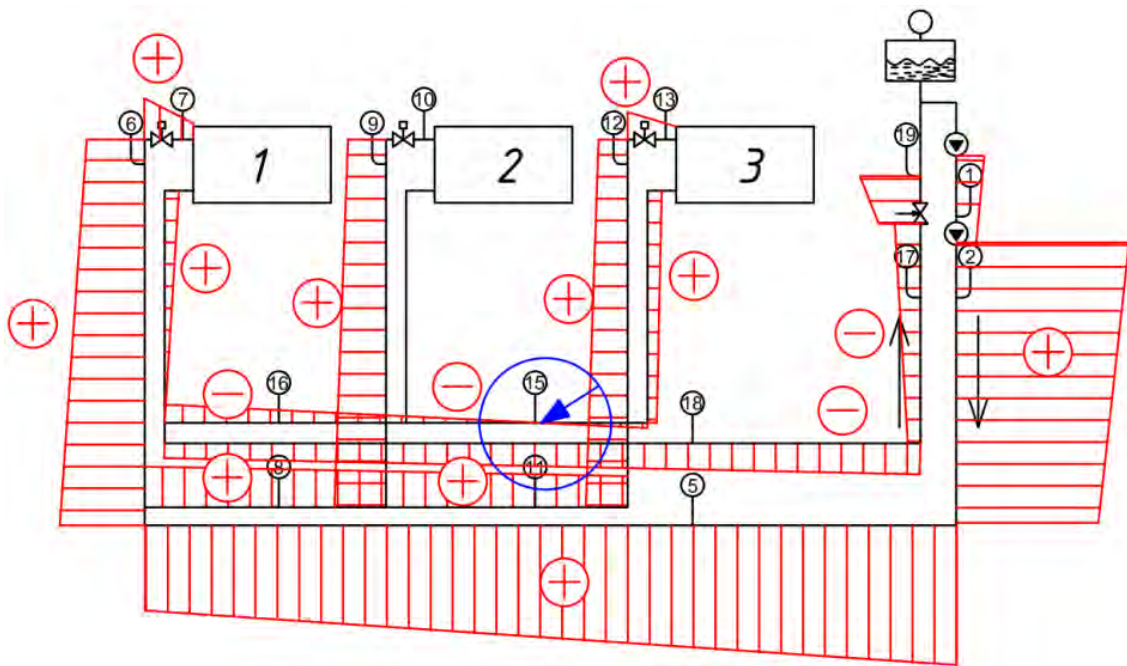


Рисунок 3 – Схема системы отопления с двумя насосами и тремя радиаторами (клапан на радиаторе № 2 прикрыт на 100 %)

Вывод: сравнивая эпюры изменения давлений с полностью открытым клапаном (рисунок 1), наполовину открытым (рисунок 2) и полностью закрытым (рисунок 3), можно сделать вывод, что при закрытии клапана точка удаляется от всасывающего патрубка. Однако, при полном закрытии ТК, точка возвращается приблизительно на то же самое место, где она располагалась при включении в систему только двух радиаторов (так как ТК закрыт, то движение воды через этот радиатор отсутствует) (рисунок 3). На основании вышеперечисленного можно сказать, что расположение точки нулевых давлений в современных

системах отопления с термостатическими клапанами на отопительных приборах не является постоянным, однако можно определить участок, на котором приблизительно находится эта точка. Благоприятное расположение расширительного бака в системе отопления также не является постоянным.

Таким образом, расширительный бак лучше всего располагать на всасывающей стороне насоса.

Список цитированных источников

1. Сканави, А. Н. Отопление: учебник для вузов / А. Н. Сканави, Л. М. Махов. – М. : Издательство АСВ, 2008. – 576 с.

УДК 697.94

Шенетуха В. О., Лавринович А. Н.

Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА В ХОЛОДНЫЙ И ПЕРЕХОДНЫЙ ПЕРИОДЫ ГОДА

В данной работе мы хотим сравнить работу промышленного кондиционера в переходный период и холодный период, а именно, сможет ли кондиционер подать приточный воздух необходимых допустимых параметров в помещение независимо от температуры наружного воздуха.

Последовательность включения секций:

1. Пластинчатый рекуператор.
2. Калорифер.
3. Пароувлажнитель.

Сведем данные опыта в таблицы для последующего анализа. Измеряли температуры (t) и влажности (φ) приточного воздуха, вытяжного воздуха до и после рекуператора.

Таблица 1 – Значения холодного периода

№	τ , МИН	$t_{\text{наружного}}$ воздуха	Приточный воздух		Вытяжной воздух до рекуператора		Удаляемый воздух после рекуператора		η , %	Расчетная теплота	
			$t_{\text{приток}}$	$\varphi_{\text{приток}}$	$t_{\text{выт}}$	$\varphi_{\text{выт}}$	t_p	φ_p		Q , кДж/ч	Q , кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Рекуператор											
1	0	-6	22,4	17	24,3	24,7	17,2	39,3	93,7	3,44	0,95
9	8	-6	12	28,5	21,7	24,2	9,5	44,7	65,0	17,55	4,87
19	18	-6	10,7	30,4	22,6	-	9	43,5	58,4	21,53	5,98
№	τ , МИН	$t_{\text{наружного}}$ воздуха	Приточный воздух		Вытяжной воздух до рекуператора		Вытяжной воздух после рекуператора		Расчетная теплота		
			$t_{\text{приток}}$	$\varphi_{\text{приток}}$	$t_{\text{выт}}$	$\varphi_{\text{выт}}$	t_p	φ_p	Q , кДж/ч	Q , кВт	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
+ Калорифер											
20	19	10,7	12	29,4	22,6	-	9	43,8	2,35	0,65	
28	27	10,7	28,9	12,3	21,8	22,2	9,7	43,1	32,92	9,15	
35	34	10,7	30,2	11,5	22,7	20,5	9,9	42,4	35,28	9,80	
№	τ, МИН	t _{наружного воздуха}	Приточный воздух		Вытяжной воздух до рекуператора		Вытяжной воздух после рекуператора				
			t _{пр}	Ф _{пр}	t _{выт}	Ф _{выт}	t _р	Ф _р			
+ Парогенератор											
36	35	30,2	30,4	15,2	24,3	-	9,9	42,8			
45	44	30,2	30,8	38,5	25,1	-	10,5	62,5			
54	53	30,2	30,1	41	25,2	-	10,6	72,5			

Таблица 2 – Значения переходного периода

№	τ, МИН	t _{наружного воздуха}	Приточный воздух		Вытяжной воздух до рекуператора		Удаляемый воздух после рекуператора		η, %	Расчетная теплота	
			t _{приток}	Ф _{приток}	t _{выт}	Ф _{выт}	t _р	Ф _р		Q, кДж/ч	Q, кВт
Рекуператор											
1	0	-3,8	24,7	28,7	24,11	25,2	17	34,5	102,1	-1,07	-0,30
9	8	-3,8	13,7	119,4	24,5	22,3	13,1	37,2	61,8	19,54	5,43
19	18	-3,8	12,1	22,7	23,6	-	10,9	35,2	58,0	20,80	5,78
№	τ, МИН	t _{наружного воздуха}	Приточный воздух		Вытяжной воздух до рекуператора		Удаляемый воздух после рекуператора		Расчетная теплота		
			t _{приток}	Ф _{приток}	t _{выт}	Ф _{выт}	t _р	Ф _р	Q, кДж/ч	Q, кВт	
+ Калорифер											
20	19	12,1	15,8	20,1	23,5	-	10,8	34,7	6,69	1,86	
24	23	12,1	27,6	10,7	23,5	-	11	33,3	28,04	7,79	
28	27	12,1	30,4	9,5	24,5	18,4	11,4	32,2	33,10	9,20	
№	τ, МИН	t _{наружного воздуха}	Приточный воздух		Вытяжной воздух до рекуператора		Удаляемый воздух после рекуператора				
			t _{приток}	Ф _{приток}	t _{выт}	Ф _{выт}	t _р	Ф _р			
+ Парогенератор											
29	28	30,4	30,7	12,2	24,8	-	11,5	31,7			
34	33	30,4	32,4	32,1	25,7	-	11,9	41,7			
39	38	30,4	29,9	39,6	25,9	-	12,1	48			

По полученным данным построим процессы изменения состояния воздуха внутри рекуператора на I-d диаграмме влажного воздуха, где точка Н – наружный воздух, Р – приточный воздух (на выходе из рекуператора), В – внутренний воздух, Р – удаляемый воздух после рекуператора. Процесс Н-Р – процесс прохождения наружного воздуха через рекуператор, после которого мы получаем

приточный воздух. В'-Р' – процесс, при котором вытяжной воздух, проходя через рекуператор, отдает свою теплоту наружному воздуху и выходит из рекуператора с параметрами точки Р' [1].

И проанализируем полученные (практические) показатели в холодный период (ХП) и переходный период (ПП) с теоретическими, которые указаны в техническом паспорте кондиционера [2].

Таблица 3 – Сравнение технических данных и данных, полученных опытным путем

Оборудование	Параметр	Теоретическое	Практическое в ХП	Практическое в ПП
Рекуператор	КПД	59,30 %	58,40 %	58,00 %
	Производительность утилизации	12,82 кВт	5,98 кВт	5,78 кВт
	Выходная температура	4,5°С	10,7°С	12,1°С
Калорифер	Тепловая производительность	6,03 кВт	9,8 кВт	9,2 кВт
	Выходная температура	16,5°С	30,2°С	30,4°С
Пароувлажнитель	Производительность	7,96 кг/ч	13,14 кг/ч	14,94 кг/ч
	Выходная влажность	42 %	41 %	40 %

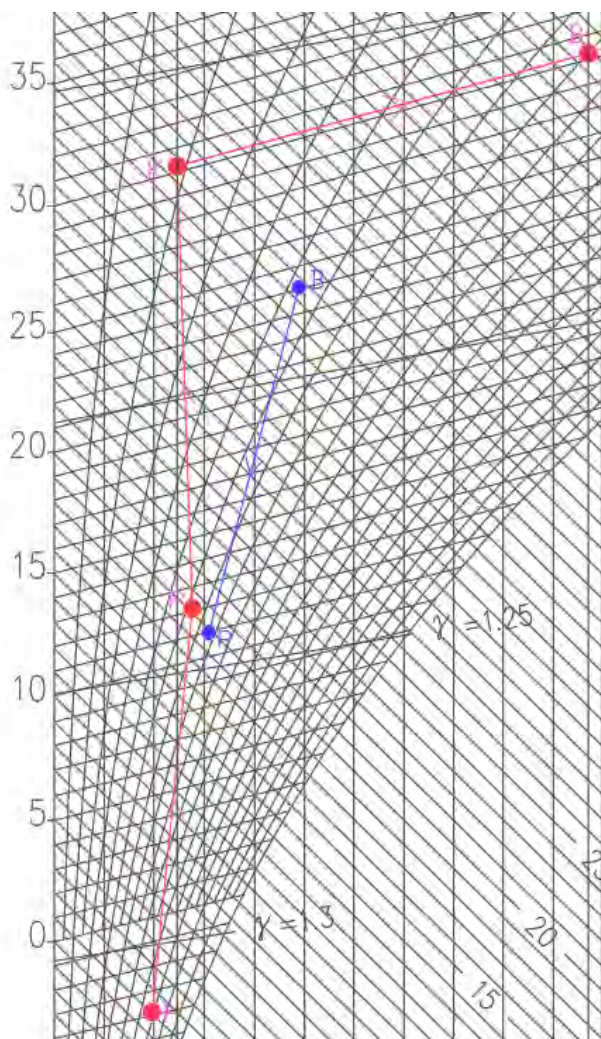


Рисунок 1 – Процесс обработки воздуха в центральном кондиционере в переходный период года

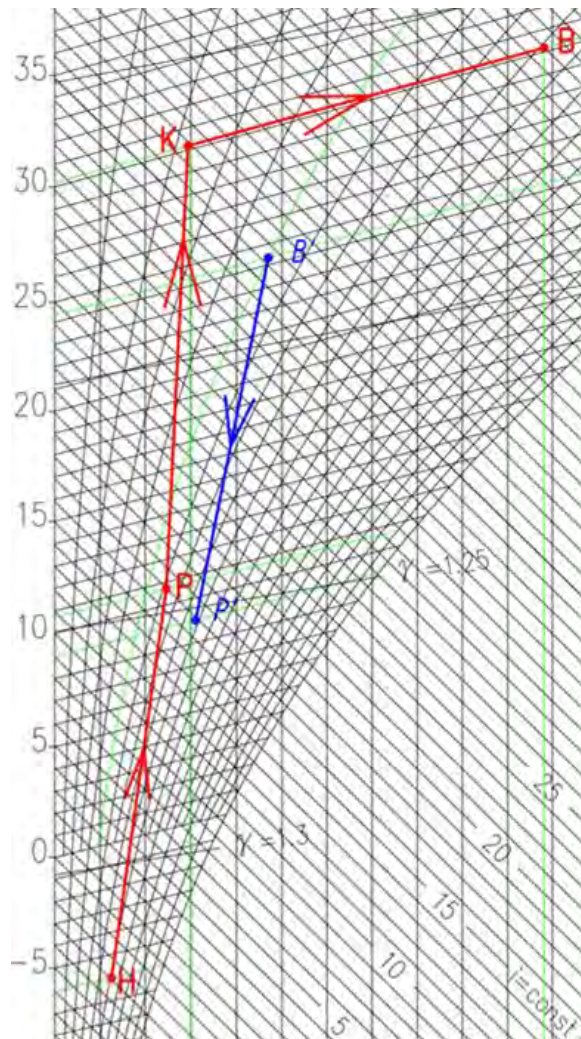


Рисунок 2 – Процесс обработки воздуха в центральном кондиционере в холодный период года

В данной научной работе было подтверждено, что промышленный кондиционер КЦ-КТ эффективен в холодный и переходный периоды года, т. е. доказали опытным путем, что оптимальные и допустимые параметры воздуха для комфортного пребывания человека в помещении, которые не окажут негативного влияния на его здоровье, мы достигли. Независимо от параметров наружного воздуха кондиционер выдает приточный воздух в одном диапазоне показателей воздуха. Он позволяет достигнуть необходимого состояния воздуха в определенных температурных, влажностных диапазонах его параметров. Данный кондиционер работает согласно параметрам технического паспорта. Использование таких установок необходимо для автоматического поддержания в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха на определенном уровне для обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, для ведения технологических процессов, обеспечение сохранности ценностей культуры. Однако для того, чтобы добиться более эффективной работы центрального кондиционера, также необходима его «грамотная» эксплуатация.

Список цитированных источников

1. Дячек, П. И. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: учеб. пособие / П. И. Дячек. – М. : Издательство АСВ, 2017. – 676 с.
2. Руководство по эксплуатации. Лабораторный стенд «Центральный промышленный кондиционер» КЦ-ТК-1,6-6/3. – Брест : Внедренческое предприятие «Альтернатива», 2012. – 24 с.

УДК 697.94

Лавринович А. Н.

Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА

В данной научной работе мы изучали работу промышленного кондиционера, установленного в лаборатории 3/116. А именно мы изучали, можем ли мы с помощью данного кондиционера добиться необходимых оптимальных и допустимых параметров воздуха, чтобы человеку было комфортно находиться в помещении. Мы предоставим вам результаты наших опытов.

Секции в центральном кондиционере включаем последовательно, чтобы измерить конечные параметры обработанного воздуха после каждого вида оборудования.

Последовательность включения секций:

1. Пластинчатый рекуператор.
2. Калорифер.
3. Пароувлажнитель.

Все данные, полученные в результате проведенной лабораторной работы, сводим в таблицы.

Таблица 1 – Параметры воздуха при работе рекуператора

№	τ , мин	$t_{\text{наружного}}^{\text{воздуха}}$	Приточный воздух		Вытяжной воздух до рекуператора		Удаляемый воздух после рекуператора		η , %	Расчетная теплота	
			$t_{\text{приток}}$	$\Phi_{\text{приток}}$	$t_{\text{выт}}$	$\Phi_{\text{выт}}$	$t_{\text{рек}}$	$\Phi_{\text{рек}}$		Q , кДж/ч	Q , кВт
Рекуператор											
1	0	-6	22,4	17	24,3	24,7	17,2	39,3	93,7	3,44	0,95
2	1	-6	17,9	20,2	23,6	23,9	12,1	44,4	80,7	10,31	2,86
3	2	-6	16,2	22,5	23,4	23,1	11,2	45	75,5	13,02	3,62
4	3	-6	15	23,7	23	23	10,6	45,1	72,4	14,47	4,02
5	4	-6	14	25,5	22,8	22,2	10,3	43,8	69,4	15,92	4,42
6	5	-6	13,3	26,4	22,4	22,4	10	43,6	68,0	16,46	4,57
7	6	-6	12,7	27,1	22,2	25	9,7	43,3	66,3	17,19	4,77
8	7	-6	12,2	27,7	22,1	25,5	9,5	44,5	64,8	17,91	4,97
9	8	-6	12	28,5	21,7	24,2	9,5	44,7	65,0	17,55	4,87
10	9	-6	11,7	28,9	21,7	23,2	9,2	45,4	63,9	18,09	5,03
11	10	-6	11,5	28,9	21,6	22,9	9,3	45,7	63,4	18,27	5,08
12	11	-6	11,2	29,4	21,3	23,3	9,1	43,8	63,0	18,27	5,08
13	12	-6	11,1	29,7	22,5	-	9,2	45,1	60,0	20,62	5,73
14	13	-6	10,9	29,9	22,6	-	9,1	44	59,1	21,17	5,88
15	14	-6	10,9	30,2	22,6	-	9,3	44,3	59,1	21,17	5,88
16	15	-6	10,8	30,1	22,4	-	9,2	44,5	59,2	20,98	5,83
17	16	-6	10,8	30,2	22,4	-	9,1	44,6	59,2	20,98	5,83
18	17	-6	10,8	30,3	22,4	-	9,2	44,1	59,2	20,98	5,83
19	18	-6	10,7	30,4	22,6	-	9	43,5	58,4	21,53	5,98

Таблица 2 – Параметры воздуха при работе рекуператора и калорифера

№	τ , мин	$t_{\text{наружного}}^{\text{воздуха}}$	Приточный воздух		Вытяжной воздух до рекуператора		Удаляемый воздух после рекуператора		Расчетная теплота		
			$t_{\text{приток}}$	$\Phi_{\text{приток}}$	$t_{\text{выт}}$	$\Phi_{\text{выт}}$	$t_{\text{рек}}$	$\Phi_{\text{рек}}$	Q , кДж/ч	Q , кВт	
+ Калорифер											
20	19	10,7	12	29,4	22,6	-	9	43,8	2,35	0,65	
21	20	10,7	16,7	23,9	22,6	-	9,1	43,7	10,85	3,02	
22	21	10,7	20,5	19,1	22,8	-	9,1	43,9	17,73	4,92	
23	22	10,7	23,4	16,3	22,8	-	9,2	43,8	22,97	6,38	
24	23	10,7	25,3	14,7	23,1	-	9,5	43,8	26,41	7,34	
25	24	10,7	27	13,6	23,3	-	9,5	43,6	29,49	8,19	
26	25	10,7	27,8	12,9	23,4	-	9,5	43,1	30,93	8,59	
27	26	10,7	28,4	12,5	21,5	22,9	9,6	43,2	32,02	8,89	
28	27	10,7	28,9	12,3	21,8	22,2	9,7	43,1	32,92	9,15	
29	28	10,7	29,3	12	22,1	21,9	9,7	43,1	33,65	9,35	
30	29	10,7	29,6	11,8	22,2	22,7	9,7	43,3	34,19	9,50	
31	30	10,7	29,8	11,8	22,2	22,2	9,8	43,3	34,55	9,60	
32	31	10,7	29,9	11	22,5	21,2	9,8	43	34,73	9,65	
33	32	10,7	30,1	11,6	22,5	20,7	9,8	42,7	35,09	9,75	
34	33	10,7	30,2	11,6	22,6	21	9,9	42,6	35,28	9,80	
35	34	10,7	30,2	11,5	22,7	20,5	9,9	42,4	35,28	9,80	

Таблица 3 – Параметры воздуха при работе рекуператора, калорифера и парогенератора

№	τ , мин	$t_{\text{наружного}}^{\text{воздуха}}$	Приточный воздух		Удаляемый воздух до рекуператора		Вытяжной воздух после рекуператора	
			$t_{\text{приток}}$	$\Phi_{\text{приток}}$	$t_{\text{выт}}$	$\Phi_{\text{выт}}$	$t_{\text{рек}}$	$\Phi_{\text{рек}}$
+ Парогенератор								
36	35	30,2	30,4	15,2	24,3	–	9,9	42,8
37	36	30,2	30,9	24,3	24,4	–	10	44,5
38	37	30,2	31,5	34,9	24,6	–	10	48
39	38	30,2	31,7	36,2	24,6	–	10,1	51,5
40	39	30,2	31,8	33,5	24,8	–	10,2	54,5
41	40	30,2	31,9	32,1	24,9	–	10,2	58
42	41	30,2	31,7	32,3	24,9	–	10,2	59,7
43	42	30,2	32,1	35,5	25,1	–	10,4	59,8
44	43	30,2	31,4	31,5	25,1	–	10,3	63
45	44	30,2	30,8	38,5	25,1	–	10,5	62,5
46	45	30,2	29,8	32,6	24,9	–	10,2	62,9
47	46	30,2	30,1	40,9	25,1	–	10,5	62,9
48	47	30,2	30,1	41,5	25,1	–	10,5	65,2
49	48	30,2	29,8	38,3	25,1	–	10,5	66
50	49	30,2	30,1	34,2	24,9	–	10,5	68,5
51	50	30,2	30,2	39,6	25,2	–	10,5	68,5
52	51	30,2	30	34,3	25,2	–	10,6	69,5
53	52	30,2	30,2	41,1	25,2	–	10,5	69,9
54	53	30,2	30,1	41	25,2	–	10,6	72,5

Таблица 4 – Сравнение технических данных и данных, полученных опытным путем

Оборудование	Параметр	Теоретическое	Практическое
Рекуператор	КПД	59,30 %	58,40 %
	Производительность утилизации	12,82 кВт	5,98 кВт
	Выходная температура	4,5 °С	10,7 °С
Калорифер	Тепловая производительность	6,03 кВт	9,8 кВт
	Выходная температура	16,5 °С	30,2 °С
Пароувлажнитель	Производительность	7,96 кг/ч	13,14 кг/ч
	Выходная влажность	42 %	41 %

Исходя из результатов полученных данных, можно сделать вывод, что установка работает в соответствии с заявленными техническими данными, однако полученные результаты измерений имеют погрешность в связи с неточностью измерительных приборов и условиями проведения опыта.

По полученным данным построим процессы изменения состояния воздуха внутри рекуператора на I-d диаграмме влажного воздуха, где точка Н – наружный воздух, Р – приточный воздух (на выходе из рекуператора), В – внутренний воздух, Р – удаляемый воздух после рекуператора. Процесс Н-Р – процесс прохождения наружного воздуха через рекуператор, после которого мы получаем приточный воздух. В'-Р' – процесс, при котором вытяжной воздух, проходя через рекуператор, отдает свою теплоту наружному воздуху и выходит из рекуператора с параметрами точки Р'.

В данной научной работе было подтверждено, что промышленный кондиционер КЦ-КТ эффективен в холодный период года, т. е. доказали опытным путем, что необходимые параметры воздуха для комфортного пребывания человека в помещении мы достигли. Он позволяет достигнуть необходимого состояния воздуха в определенных температурных, влажностных диапазонах его параметров. Данный кондиционер работает согласно параметрам технического паспорта. Использование таких установок необходимо для автоматического поддержания в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха на определенном уровне для обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, для ведения технологических процессов, обеспечение сохранности ценностей культуры. Однако для того чтобы добиться более эффективной работы центрального кондиционера, также необходима его «грамотная» эксплуатация.

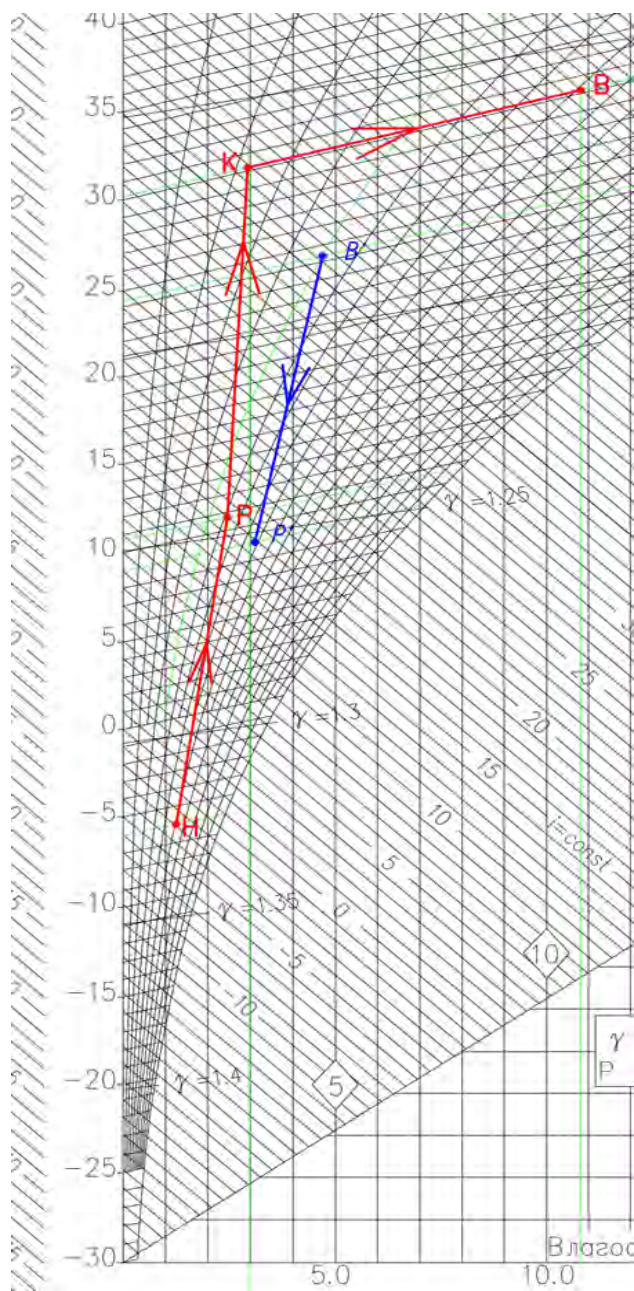


Рисунок 1 – Процесс обработки воздуха в центральном кондиционере в холодный период года

Список цитированных источников

1. Богословский, В. Н. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: учебник для вузов / В. Н. Богословский, О. Я. Кокорин, Л. В. Петров. – М. : Стройиздат, 1985. – 367 с.
2. Руководство по эксплуатации. Лабораторный стенд «Центральный промышленный кондиционер» КЦ-ТК-1,6-6/3.– Брест : Внедренческое предприятие «Альтернатива» 2012. – 24 с.
3. Дячек, П. И. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: учеб. пособие / П. И. Дячек. – М. : Издательство АСВ, 2017. – 676 с.

УДК 697.922

Петрукович А. С.

Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.

СРАВНЕНИЕ ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬСТВО СМЕШИВАЮЩИХ И ВЫТЕСНЯЮЩИХ СКВ

В настоящее время системы кондиционирования воздуха способны поддерживать оптимальные климатические условия в помещениях, независимо от их размеров и назначения. При проектировании СКВ для каждого отдельного здания или помещения применяется множество индивидуальных решений, влияющих непосредственно на качество работы системы, а также на стоимость ее строительства и обслуживания. Одним из таких решений является применение различных методов воздухораспределения. Задачей данной работы является сравнительный анализ экономической эффективности применения вытесняющих и смешивающих СКВ.

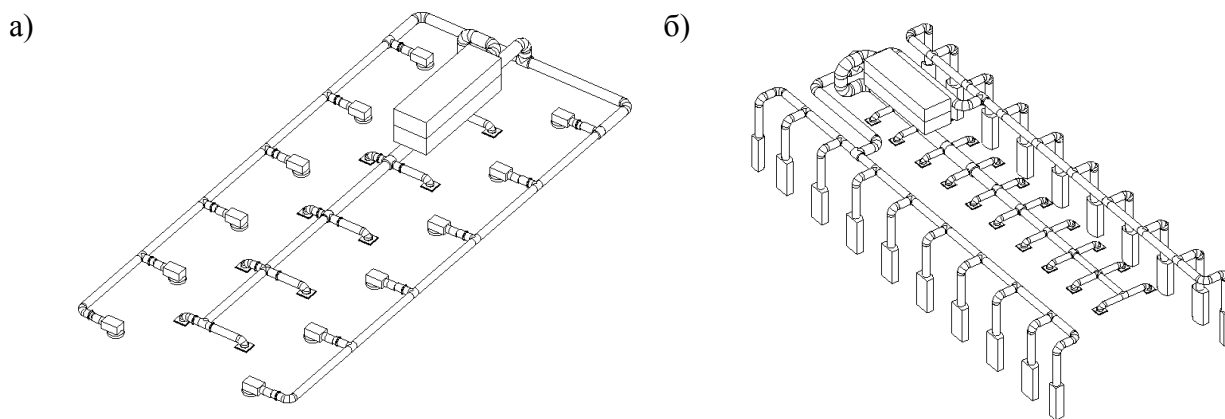
Для анализа эффективности различных типов СКВ возьмем модель помещения конференц-зала на 100 человек, объемом 1164 м^3 , с разветвленной приточно-вытяжной системой кондиционирования для города Пружаны. Расчетное помещение имеет категорию 3а – помещение с массовым пребыванием людей, в котором люди находятся преимущественно в положении сидя без верхней одежды [2].

Таблица 1– Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха

Периоды года	Наружный воздух			Внутренний воздух	
	Температура наружного воздуха $t_n, ^\circ\text{C}$	Энтальпия наружного воздуха $I_n, \text{кДж/кг}$	Скорость ветра $v, \text{м/с}$	Температура внутреннего воздуха $t_w, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi, \%$
Тёплый	24,8	50,4	2,5	25	60
Холодный	-22	-20,5	3,2	20	30

Таблица 2– Количество вредных выделений в расчетном помещении

Объем помещения, м^3	Расчетный период	Тепловые избытки кДж/ч		Влаговыведения, кг/ч	Газовые выделения л/ч
		Явные	Полные		
1164	ТП	81965	108695	10,64	2501
	ХП	39164	56480	6,94	2501



а – смешивающей, б – вытесняющей

Рисунок 1 – 3D-модели систем кондиционирования помещения

По результатам проведенных расчетов, выполненным по методике, изложенной в [3], для данных условий (таблица 1, таблица 2) получаем, что всемешивающей СКВ (рисунок 1а) температуры приточного воздуха для теплого и холодного периода составили соответственно 19 и 16,5 °С. Расчётный воздухообмен $G_{\text{п}}^{\text{р}} = 7469 \text{ м}^3/\text{ч}$ Потери давления в приточной сети СКВ по главному направлению составили $\Delta P = 215 \text{ Па}$. Потери давления в вытяжной сети СКВ по главному направлению $\Delta P = 218 \text{ Па}$.

Параметры вытесняющей СКВ (рисунок 1б): температуры приточного воздуха для теплого и холодного периода составили 23 и 18,3°С соответственно. Расчётный воздухообмен $G_{\text{п}}^{\text{р}} = 13326 \text{ м}^3/\text{ч}$ Потери давления в приточной сети СКВ по главному направлению составили $\Delta P = 228 \text{ Па}$. Потери давления в вытяжной сети СКВ по главному направлению $\Delta P = 254 \text{ Па}$.

Таблица 3 – Стоимости сети воздуховодов для различных типов СКВ

Тип СКВ	Длина, м	Дв, мм	Средняя стоимость за 1 м. п. Вг	Средняя стоимость фасонной части, Вг за шт.	Кол-во фасонных частей	Общая стоимость, Вг
Смешивающая	Приток					
	2,20	500	77	71	4	453,4
	12,20	400	44	38	6	764,8
	36,60	315	34	28	10	1524,4
	Вытяжка					
	7,60	500	77	71	8	1153,2
	3,90	400	44	38	4	323,6
	17,40	315	34	28	13	955,6
					Сумма:	5175
	Вытесняющая	Приток				
1,40		630	98	92	4	505,2
14,30		500	77	71	10	1811,1
100,80		400	44	38	40	5955,2
Вытяжка						
8,20		630	98	92	17	2367,6
3,30		500	77	71	7	751,1
3,70		400	44	38	7	428,8
23,90		315	34	28	22	1428,6
					Сумма:	13247,6

Подбор оборудования осуществляем в программе Winclim II с учётом коэффициента запаса $k = 1.1$ (рисунок 2). Для большей наглядности подбираем в центральный кондиционер калорифер, воздухоохладитель и пароувлажнитель без установки тепло- и влагоутилизирующего оборудования.

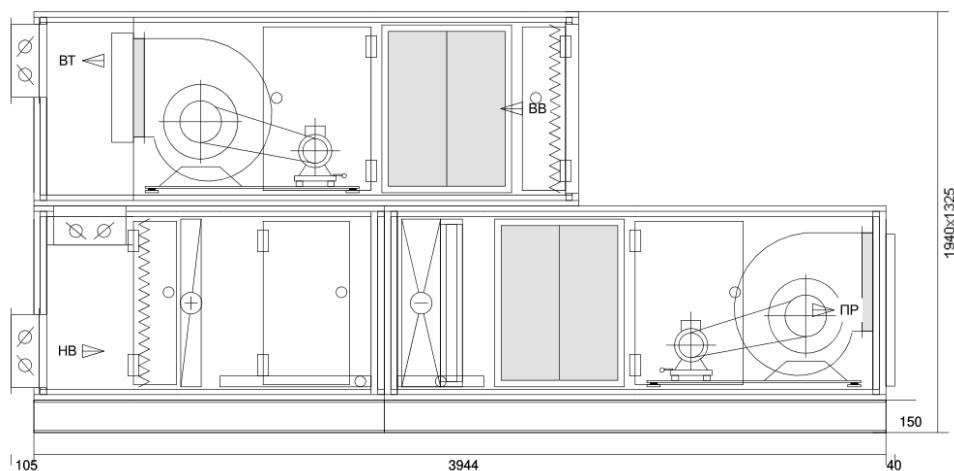


Рисунок 2 – Центральный кондиционер PR90

Таблица 4 – Стоимости оборудования центрального кондиционера для различных типов СКВ

Тип СКВ	Оборудование	Мощность, кВт	Стоимость, EUR
Смешивающая	Калорифер	106,9	918
	Охладитель	18,9	1230
	Увлажнитель	24	3602
	Приточный вентилятор	4	2103
	Вытяжной Вентилятор	3	1949
	Общая стоимость установки	-	20940
Вытесняющая	Калорифер	200	1220
	Охладитель	8,70	896
	Увлажнитель	45	3556
	Приточный вентилятор	7,5	2656
	Вытяжной Вентилятор	11	2930
	Общая стоимость установки		27411

На основании полученных данных (таблица 3, таблица 4) можно сделать следующие выводы:

– Необходимость повышать приточную температуру при устройстве вытесняющих СКВ влечёт за собой значительное увеличение расчётных расходов приточного воздуха, необходимого для ассимиляции выделяющихся вредных веществ.

– Увеличение расчётных расходов воздуха, в свою очередь, ведет к необходимости значительно повышать мощность и производительность оборудования, что в конечном итоге увеличивает цену на центральный кондиционер. В нашем случае ЦК для вытесняющих систем был дороже на 6471 евро, т. е. 23,6 %. Кроме того, рост мощностей оборудования ведет к закономерному удорожанию эксплуатации таких систем.

– Специфика расположения приточных устройств и увеличенный расчётный расход воздуха предполагает удлинение воздуховодов и увеличению их диаметра, что уже в свою очередь ещё сильнее удорожает систему. Для данной расчётной модели сеть воздуховодов для вытесняющей системы в 2,5 раза дороже, чем для смешивающей системы.

– Вытесняющие СКВ целесообразно применять в помещениях, к климатическим условиям которых предъявляются особые требования, т. к. такие системы поддерживают наилучшее качество воздуха. Наилучшими помещениями для установки таких систем являются различные зрительные залы театров и кинотеатров, поточные аудитории университетов, но для всех остальных общественных зданий применение смешивающих систем гораздо более выгодно, как в строительстве, так и в эксплуатации.

Список цитированных источников

1. Дячек, П. И. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: учебное пособие / П. И. Дячек. – Москва : Изд-во АСВ, 2017. – 676 с.

2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СН 4.02.03-2019: – Введ. 16.12.19 (с отменой на территории РБ СНБ 4.02.01-03). – Минск : Минстройархитектуры, 2019. – 72с.

3. Янчилин, П. Ф. Методические указания для выполнения курсового проекта по дисциплине «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»: в 2 частях / П. Ф. Янчилин. – Брест : БрГТУ, 2021. – Ч. 2: Расчёт центральной системы кондиционирования воздуха. Расчёт местной системы кондиционирования воздуха. – 70 с.

УДК 697.2

Вершко Р. В., Гайдукович А. С.

Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДЯНОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Система отопления относится к инженерным сетям зданий и является системой жизнеобеспечения, предназначенной для поддержания в помещениях оптимальной температуры. Без этого постоянное пребывание людей в зданиях невозможно.

В холодное время года человек вынужден обеспечивать в помещениях внутреннюю температуру воздуха выше наружной. Процесс поддержания такой внутренней температуры называется отоплением. Тепловая энергия, подаваемая в помещение системой отопления, передается внутреннему воздуху, и в то же время от внутреннего воздуха поток тепла через наружные ограждения направлен из помещения наружу. Баланс этих двух процессов обуславливает температуру внутреннего воздуха [1, с. 35].

В работе представлены водяная (рисунок 1) и электрическая (рисунок 2) система отопления индивидуального жилого дома.

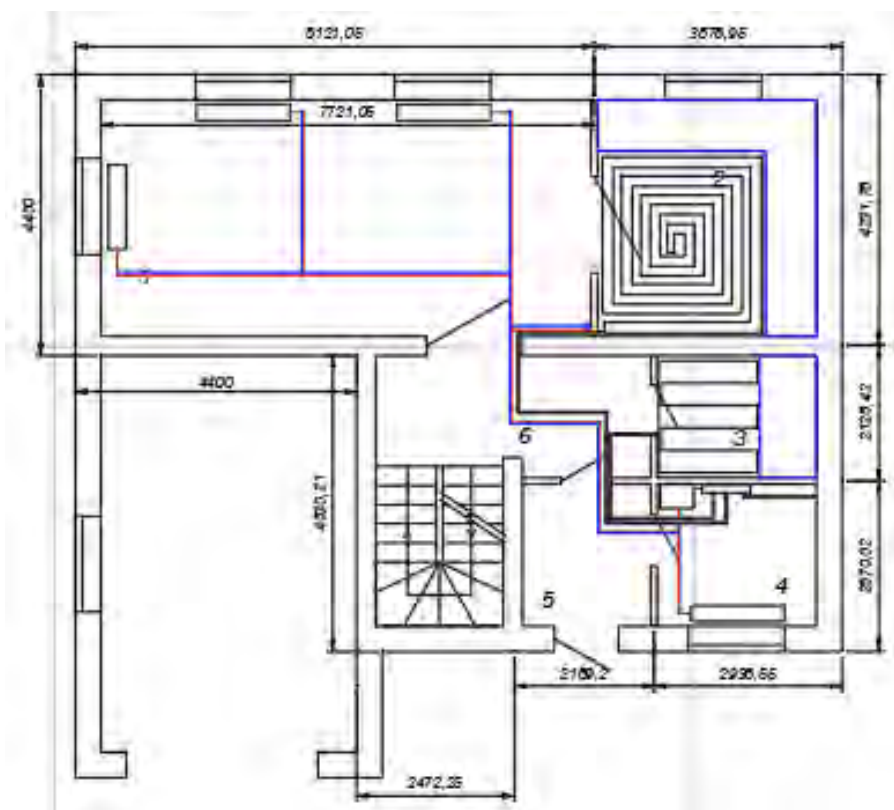


Рисунок 1 – План первого этажа с водяной системой

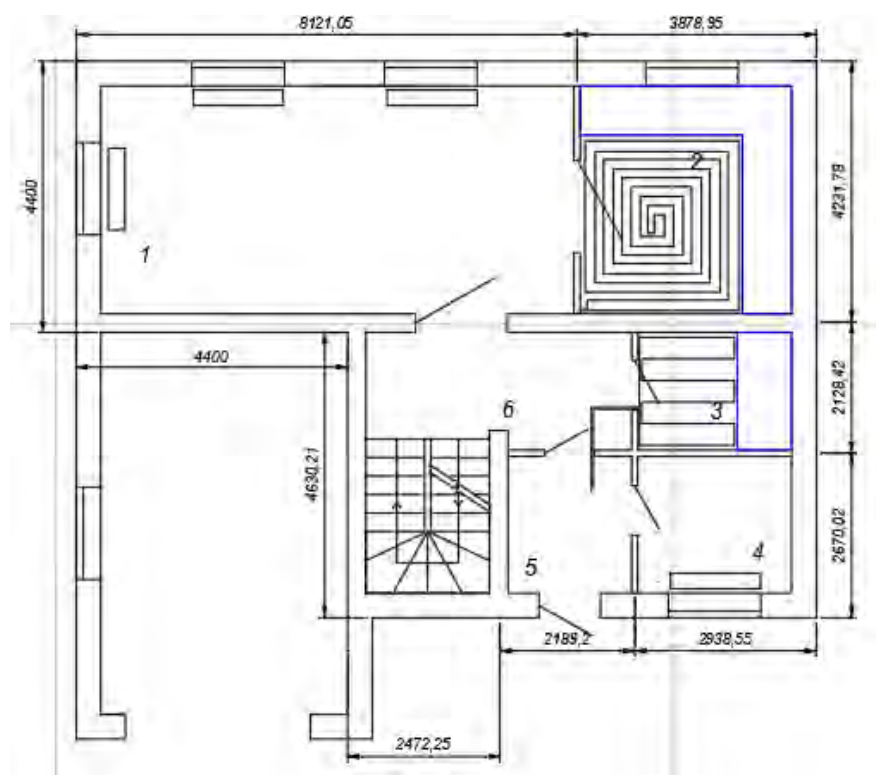


Рисунок 2 – План первого этажа с электрической системой

Водяное отопление электрическим либо газовым котлом обладает большей инерционностью, значительной материалоемкостью и большой стоимостью. С газовым котлом необходимо получить разрешения, документы, регулярный осмотр, чистка теплообменника и строго ограниченный срок службы, что вле-

чѐт дополнительные финансовые и временные затраты. Электрическое отопление характеризуется высокой температурой греющей поверхности и связанные с этим ограничения, такие как расстояние до горючих материалов не менее 60 см, нельзя оставлять детей одних с включенными электрическими приборами и т. д. А также необходимо проложить отдельную разводку электрических кабелей к каждому электроприбору и счетчик для учета электроэнергии, расходуемой на отопление.

Достоинства водяной системы отопления с газовым котлом: низкая стоимость обслуживания и эксплуатации; теплота передается путем излучения, что более комфортно для человека.

Недостатки водяной системы отопления с газовым котлом: необходима разрешительная документация на установку газового котла; необходима установка воздухопроводов для притока воздуха в камеру сгорания и отвода дыма (если не использовать стандартный дымоход); если котел с открытой камерой сгорания, необходимо соблюдение требований пожарных и газовых служб для помещения котельных; большая инерционность.

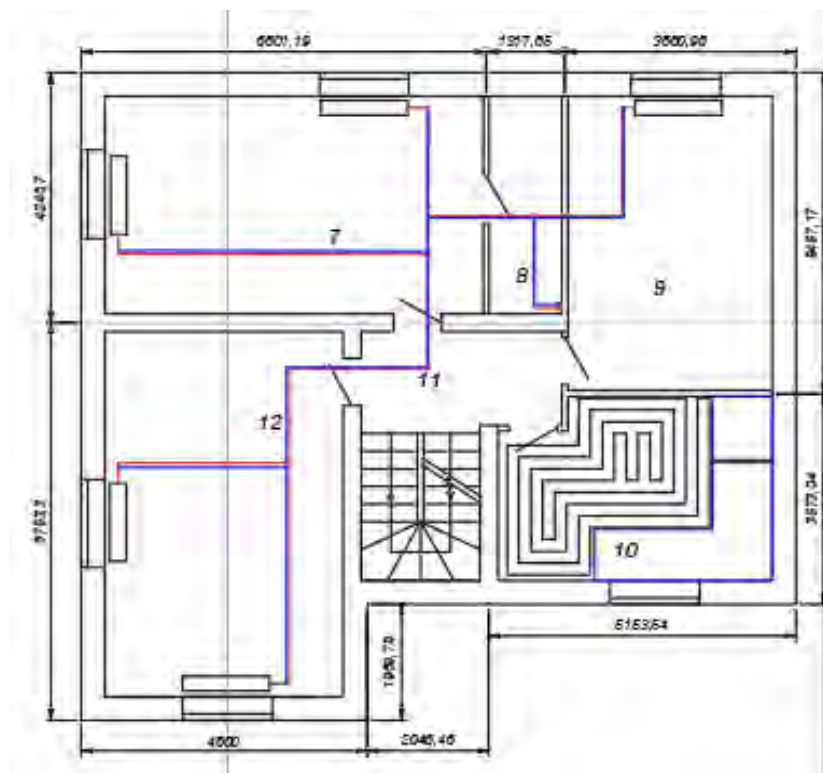


Рисунок 3 – План второго этажа с водяной системой

Так как проектируем индивидуальный жилой дом, то необходим одноконтурный электрический котел, который будет располагаться в котельной на 1 этаже в помещении 4. Магистральные стояки располагаем вертикально в котельной, т. к. это обеспечит доступ к распределителю в любое время. Гребенки для радиаторного отопления отсутствуют, так как напольное отопление является основным видом отопления в доме. Также покажем второй этаж с водяным отоплением (рисунок 2).

Достоинства водяной системы отопления с электрическим котлом: теплота передается путем излучения, что более комфортно для человека; простота мон-

тажа электрического котла, не нужна дополнительная документация; нет необходимости установки дополнительных воздуховодов.

Недостатки водяной системы отопления с электрическим котлом: необходима бесперебойная подача электричества, высокая стоимость эксплуатации, большая инерционность.

Можем сделать экономический анализ данных систем (таблица 1).

Таблица 1 – Экономический расчет водяной и электрической систем

	Цена, руб.		
	Монтаж	Оборудование	Итог
Газовый котёл	1360	6941,8	8301,8
Электрический котёл	2290	7141,8	9431,8
Электрическое отопление	1700	2615,6	4315,6

За 6 месяцев отопительного сезона индивидуальный жилой дом расходует 8688 кВт электроэнергии при использовании электрического отопления, 1 кВт = 0,04 руб. следовательно в итоге получаем 347,52 руб. Если же установить газовый котёл, понадобится 1700 м³, 1 м³ = 0,14 руб., за весь период будет 238 руб.

Принимая итоговую стоимость системы отопления с газовым котлом (8301,8 руб.) за 100 %, можем сделать вывод, что индивидуальный жилой дом с электрическими отопительными приборами (конвекторами) и электрическим тёплым полом значительно проще в монтаже и дешевле на 40,92 % чем водяное отопление с газовым котлом, но есть ряд причин, которые ограничивают их использование в жилом доме. Водяные же системы более сложны в монтаже и дороже, но их можно использовать в любых помещениях и более комфортны для человека в повседневной жизни. Отопление при помощи электрического котла на 12 % дороже, чем при помощи газового котла, но проще в монтаже и нет необходимости в разрешениях от пожарных и газовых служб.

Список цитированных источников

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СН 4.02.03-2019 – Минск, 2019.

УДК 697.9

Каперейко Ю. В., Петрукович А. С.

Научный руководитель: ст. преподаватель Ключева Е. В.

СРАВНЕНИЕ ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЮ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ, РАССЧИТАННОЙ ПО ПРОГРАММЕ MAGICADREVIТ И ПО НОМОГРАММАМ

Для сравнения двух методов расчета, автоматического и «вручную», возьмем модель здания с разветвленной приточно-вытяжной системой кондиционирования (рисунок 1). Первый расчет произведен в программе MagiCADRevit, второй – с помощью таблиц и номограмм, по рекомендуемым скоростям: 5–8 м/с в ответвлениях, 8–12 м/с в магистральных воздуховодах.

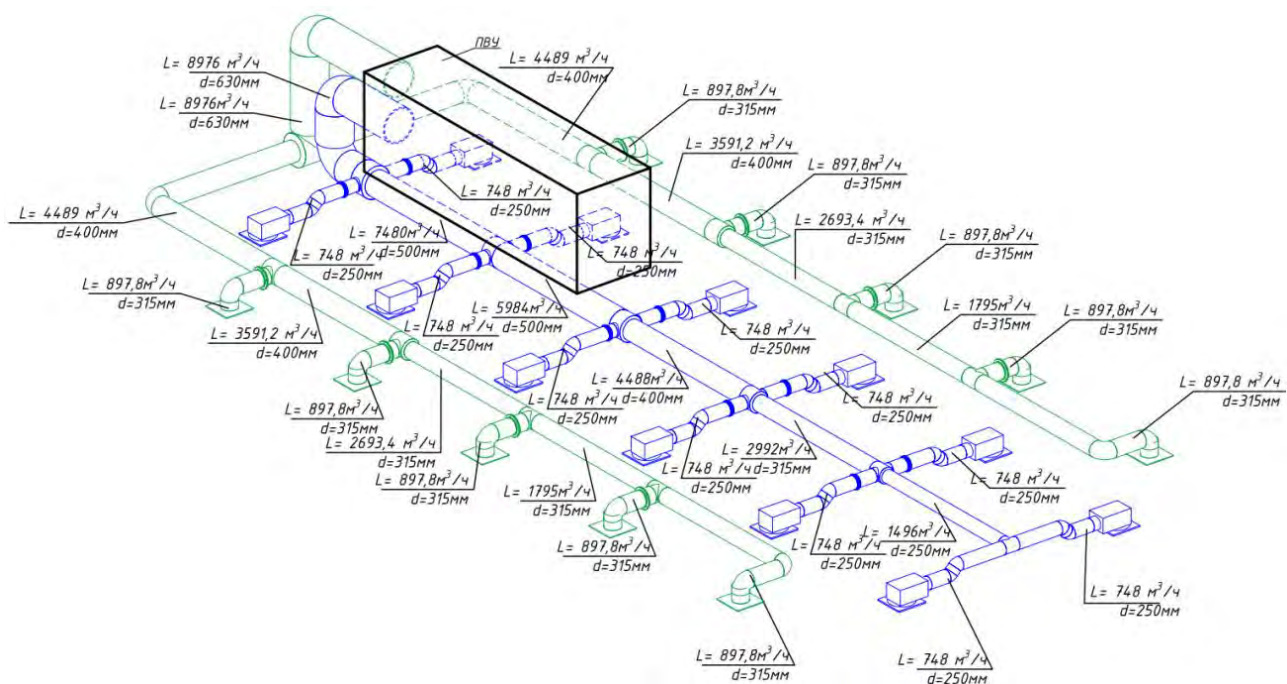


Рисунок 1 – 3D-модель системы кондиционирования помещения, выполненная и рассчитанная в программе MagiCADRevit

По полученным результатам можем составить предварительный расчет стоимости материалов и оборудования системы кондиционирования для двух вариантов.

При расчете с помощью номограмм потери давления по главному направлению составляют 275,77 Па при расходе воздуха 8976 м³/ч.

При автоматическом расчете в программе MagiCADRevit потери давления составляют $\Delta P = 269,1$ Па при расходе воздуха 8976 м³/ч (на основании отчета из MagiCADRevit).

Таким образом, отклонение от автоматизированного расчета небольшое, однако, главным отличием служат подобранные диаметры воздуховодов (таблица 1).

Таблица 1 – Диаметры воздуховодов, подобранные по программе MagiCADRevit и по номограммам

№ участка	D, мм, подобранные в MagiCADRevit	D, мм, подобранные по номограммам
1	250	200
2	250	200
3	250	250
4	315	315
5	400	400
6	500	500
7	500	500
8	630	550

На данный момент в Беларуси средняя стоимость вентиляционного оборудования приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Средняя стоимость воздухопроводов и фасонных частей

Диаметр воздуховода	Средняя стоимость прямолинейного участка, бел. руб. за 1 м. п.	Средняя стоимость фасонного изделия (отводы, тройники, крестовины, редукция), бел. руб. за 1 шт.
200	22,0	16,0
250	27,0	21,0
315	34,0	28,0
400	44,0	38,0
500	77,0	71,0
550	87,0	81,0
630	98,0	92,0

Таким образом, можем рассчитать приблизительную стоимость строительства всей системы кондиционирования на основании двух расчётов, с учетом ответвлений (таблица 3, таблица 4). Воздухораспределители в расчете учитывать не будем, так как они остаются неизменными в обоих расчётах. Стоимость монтажных работ принимаем также одинаковой для обоих случаев.

Таблица 3 – Приблизительная стоимость строительства системы вентиляции по расчетам, сделанным по номограммам и таблицам

Диаметр d, мм	Название изделия	Количество, шт. (м.п.)	Стоимость одной единицы изделия за шт. (м. п.), бел. руб.	Стоимость, бел. руб.
1	2	3	4	5
200	гофрированный воздухопровод	9,66	9,36	90,42
200	стальной навивной воздухопровод	12,00	22,00	264,00
250	стальной навивной воздухопровод	3,60	27,00	97,20
315	стальной навивной воздухопровод	3,60	34,00	122,40
400	стальной навивной воздухопровод	3,60	44,00	158,40
500	стальной навивной воздухопровод	7,20	77,00	554,40
550	стальной навивной воздухопровод	3,67	87,00	318,86
200	фасонное изделие	12	16,00	192,00
250	фасонное изделие	3	21,00	63,00
315	фасонное изделие	4	28,00	112,00
400	фасонное изделие	4	38,00	152,00
500	фасонное изделие	7	71,00	497,00
550	фасонное изделие	6	81,00	486,00
200	воздушный клапан	8	67,23	537,84
Суммарная стоимость, бел. руб.:				3645,51

Таблица 4 – Приблизительная стоимость строительства системы вентиляции по расчетам, сделанным в программе MagiCADRevit

Диаметр d, мм	Название изделия	Количество, шт. (м.п.)	Стоимость одной единицы изделия за шт. (м. п.), бел. руб.	Стоимость, бел. руб.
1	2	3	4	5
250	гофрированный воздуховод	9,66	13,44	129,83
250	стальной навивной воздуховод	15,60	27,00	421,20
315	стальной навивной воздуховод	3,60	34,00	122,40
400	стальной навивной воздуховод	3,60	44,00	158,40
500	стальной навивной воздуховод	7,20	77,00	554,40
630	стальной навивной воздуховод	3,67	98,00	359,17
250	фасонное изделие	1	21,00	21,00
315	фасонное изделие	4	28,00	112,00
400	фасонное изделие	4	38,00	152,00
500	фасонное изделие	7	71,00	497,00
630	фасонное изделие	6	92,00	552,00
250	воздушный клапан	10	71,43	714,30
Суммарная стоимость, бел. руб.:				3793,70

Небольшое различие в расчетах аэродинамики приводит к заметному различию стоимости самой системы кондиционирования, а именно на 148,2 бел. руб. или $\delta = (3793,7 - 3645,5) / 3793,7 = 3,9\%$. При этом несколько увеличенные диаметры воздуховодов приводят к нарушению скоростного режима в системе кондиционирования, вследствие чего не соблюдаются пределы рекомендуемых скоростей в ответвлениях (не менее 5 м/с). С учетом многолетнего опыта эксплуатации объектов с разветвленной системой кондиционирования скоростной режим должен быть согласован, иначе это может повлиять на эффективность эксплуатации системы кондиционирования.

Одним из критериев эффективной системы кондиционирования также являются затраты на ее эксплуатацию. В данном случае для обеих систем кондиционирования подходит одна и та же установка, где расход и потери давления практически одинаковы.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование программ является эффективным и удобным способом расчёта, но следует принимать во внимание некоторые особенности проектирования систем вентиляции. Для большей эффективности стоит проводить расчеты с использованием различных методов аэродинамического расчета.

Список цитированных источников

1. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Б. М. Хрусталева [и др.]; под ред. Б. М. Хрусталева. – Минск : Дизайн ПРО, 1997.

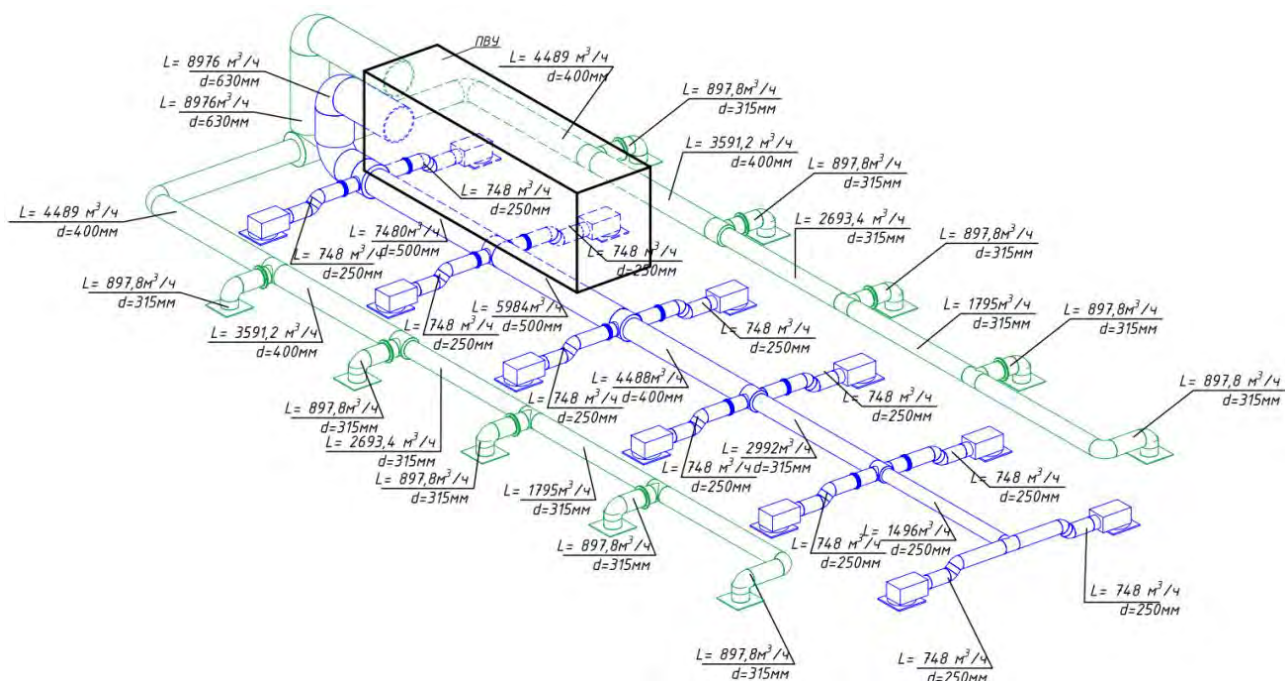
СРАВНЕНИЕ ДВУХ МЕТОДОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

По мере развития IT-технологий появляется множество программ для автоматизированного расчета различных инженерных систем, конструкций, схем. Одной из таких программ является MagiCAD, которая позволяет производить автоматический расчет систем вентиляции и кондиционирования, балансировку системы воздуховодов. Однако насколько такой метод расчёта является эффективным?

Для сравнения двух методов расчета, автоматического и «вручную», возьмем модель здания с разветвленной приточно-вытяжной системой кондиционирования (рис. 1). Первый расчет производим в программе MagiCAD Revit, второй – с помощью таблиц и номограмм, по максимально допустимым скоростям: 5-8 м/с в ответвлениях, 8-12 м/с в магистральных воздуховодах.

По результатам проведенных расчетов получаем, что в приточной системе вентиляции:

При автоматическом расчете в программе MagiCAD Revit потери давления составляют $\Delta P = 269,1$ Па при расходе воздуха 8976 м³/ч (на основании отчета из MagiCAD Revit).



**Рисунок 1 – 3D-модель системы кондиционирования помещения,
выполненная и рассчитанная в программе MagiCAD Revit**

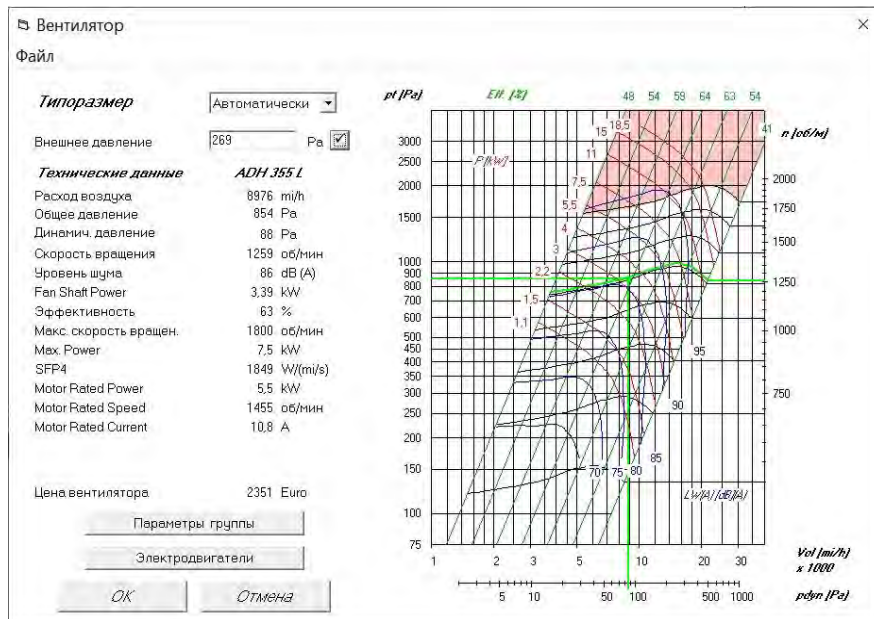


Рисунок 2 – Технические данные вентилятора, выбранного для системы кондиционирования, рассчитанной в программе MagiCAD Revit

При расчете с помощью номограмм потери давления по главному направлению составляют 275,77 Па при расходе воздуха 8976 м³/ч (таблица 1). Ниже приведен аэродинамический расчёт только главного направления системы кондиционирования, так как результатом такого расчета является подбор вентиляционного оборудования, которое подбирается исходя из значений максимальных потерь давления по главному направлению, т. е. в данном случае можно не рассматривать расчёт ответвлений.

Таблица 1 – Аэродинамический расчет главного направления системы кондиционирования

№	$L, \frac{m^3}{ч}$	$l, м$	$d, мм$	$v, м/с$	$R, Па$	$R \cdot l, Па \cdot м$	$P_d, Па$	$\Sigma \xi$	$Z = P_d \cdot \Sigma \xi$	$\chi P_{вр}, Па$	$R \cdot l + Z, Па$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Главное направление (1–8)											
ВР			250							58	58
1 (гофр)	748	0,805	200	6,9	4,25	3,421	28,566	0,25	7,142		10,563
2	748	1	200	6,6	2,6	2,600	26,136	1,15	30,056		32,656
3	1496	3,6	250	8,3	3,1	11,160	41,334	0,35	14,467		25,627
4	2992	3,6	315	10,3	3,5	12,600	63,654	0,36	22,915		35,515
5	4488	3,6	400	9,7	2,3	8,280	56,454	0,37	20,888		29,168
6	5984	3,6	500	8,3	1,3	4,680	41,334	0,15	6,200		10,880
7	7480	3,6	500	10,2	1,9	6,840	62,424	0,33	20,600		27,440
8	8976	3,665	550	10,5	1,7	6,231	66,150	0,6	39,690		45,921
Суммарные потери давления, Па:											275,770

Расхождение значений потерь давления по отношению к автоматическому расчету составляет 6,67 Па или $\delta = (275,8 - 269,1) / 269,1 = 2,5 \%$.

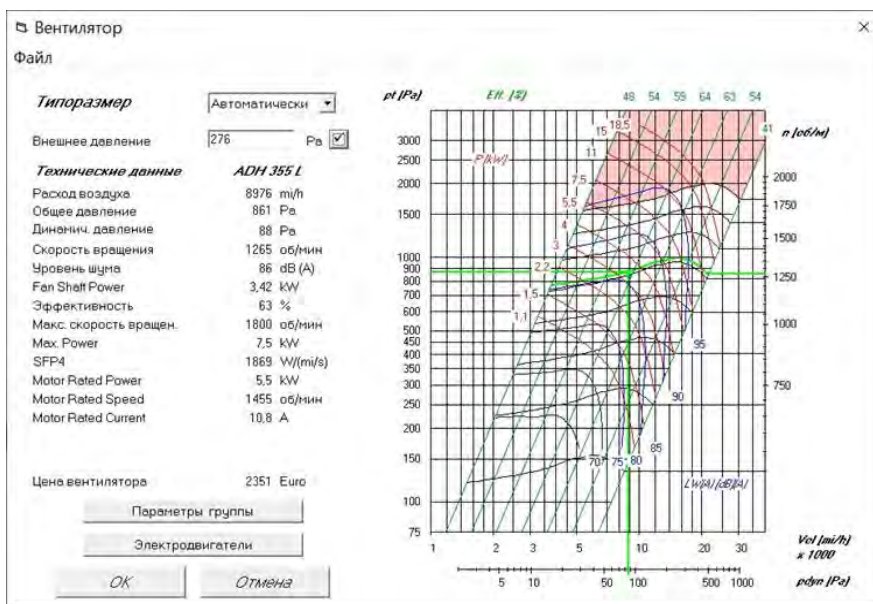


Рисунок 3 – Технические данные вентилятора, выбранного для системы кондиционирования, рассчитанной по номограммам и таблицам

Таким образом, отклонение от автоматизированного расчета небольшое, однако главным отличием служат подобранные диаметры воздуховодов (таблица 2). Вентиляционное оборудование для обоих вариантов, как видно из рисунка 2 и 3, является одинаковым.

Таблица 2 – Диаметры воздуховодов, подобранные по программе MagiCAD Revit и по номограммам

№ участка	D, мм, подобранные в MagiCAD Revit	D, мм, подобранные по номограммам
1	250	200
2	250	200
3	250	250
4	315	315
5	400	400
6	500	500
7	500	500
8	630	550

Заметно, что диаметры на начальном и конечном участке отличаются. Из-за того, что диаметры, рассчитанные по номограммам, имеют меньший размер, это приводит к увеличению потерь давления. Рассчитаем по номограммам систему с такими же диаметрами, подобранными в программе MagiCAD Revit (т. е. изменим диаметры на участках 1, 2, 8) (таблица 3).

Таблица 3 – Аэродинамический расчет главного направления системы кондиционирования (с пересчётом участков 1, 2, 8)

№	L, м ³ /ч	l, м	d, мм	v, м/с	R, Па	R*l, Па*м	P _д , Па	Σξ	Z=P _д *Σξ	xP _{вр} , Па	R*I+Z, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Главное направление (1–8)											
ВР			250							58	58
1 (гофр)	748	0,805	250	4,3	1,36	1,095	11,094	0,25	2,774		3,868
2	748	1	250	4,25	0,95	0,950	10,838	1,15	12,463		13,413
3	1496	3,6	250	8,3	3,1	11,160	41,334	0,35	14,467		25,627
4	2992	3,6	315	10,3	3,5	12,600	63,654	0,36	22,915		35,515
5	4488	3,6	400	9,7	2,3	8,280	56,454	0,37	20,888		29,168
6	5984	3,6	500	8,3	1,3	4,680	41,334	0,15	6,200		10,880
7	7480	3,6	500	10,2	1,9	6,840	62,424	0,4	24,970		31,810
8	8976	3,665	630	7,9	0,89	3,262	37,446	0,6	22,468		25,729
Суммарные потери давления, Па:											234,011

В данном случае расхождение значений потерь давления по отношению к автоматическому расчету составляет 35,09 Па или $\delta = (269,1 - 234,011) / 269,1 = 13\%$. Вентилятор для такой системы представлен на рисунке 4.

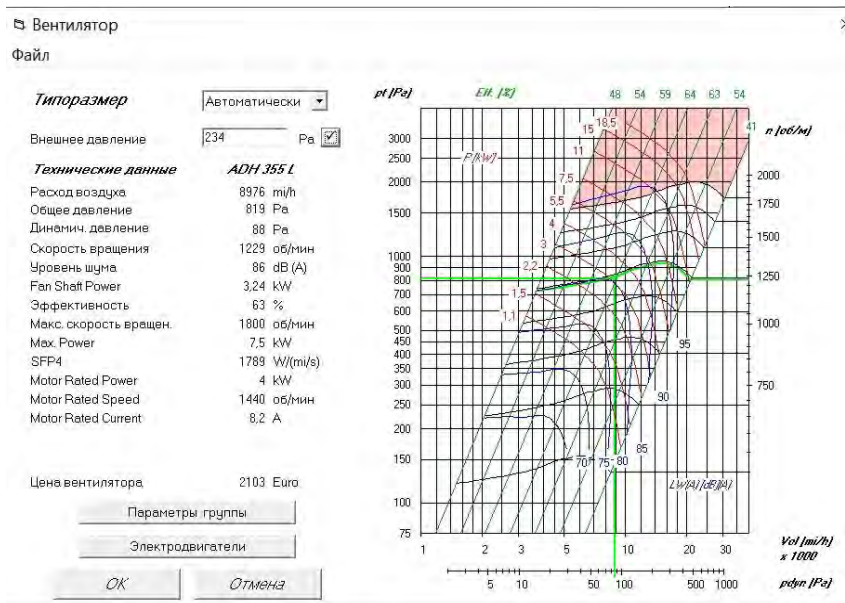


Рисунок 4 – Технические данные вентилятора, выбранного для системы кондиционирования, рассчитанной по номограммам и таблицам (с пересчётом участков 1, 2, 8)

Разница в потерях давления не является большой, однако, при применении больших по размерам воздуховодов, появляются дополнительные затраты на материал и монтаж системы. Также при применении больших воздуховодов не соблюдаются пределы рекомендуемых скоростей в ответвлениях (не менее 5 м/с). С учетом многолетнего опыта эксплуатации объектов с разветвленной системой

кондиционирования скоростной режим должен быть согласован, иначе это может повлиять на эффективность эксплуатации системы кондиционирования.

Одной из важных деталей автоматизированного расчета системы кондиционирования (вентиляции) является то, что программа производит увязку ответвлений только при наличии в них регулирующей арматуры, что не всегда может быть обязательным при расчёте по номограммам и таблицам (при невязке ответвлений с главным направлением менее 10 %). Добавление запорной арматуры ведет к удорожанию системы кондиционирования.

Таким образом, различия в расчете с помощью программы и по номограммам и таблицам не существенные, но все же они имеют место быть. Расхождение значений потерь давления между автоматическим и «стандартным» составляет 2,4 %, а при пересчете на диаметры, подобранные в программе, – 13 %. Небольшая разница может привести к удорожанию системы, что является нежелательным результатом аэродинамического расчёта.

На основании вышеперечисленного можно сделать вывод, что расчёт в программах является альтернативой расчёту по номограммам и таблицам, однако стоит учитывать некоторую погрешность автоматизированных расчётов. На примере системы кондиционирования одного помещения можно сказать, что метод расчета по номограммам и таблицам является более надежным, так как все параметры воздухопроводов контролируются непосредственно человеком, а именно, такие как скорость и ее возрастание по ходу движения расчета участков воздухопроводов, потери в местных сопротивлениях, форма поперечного сечения и размер воздухопроводов.

Список цитированных источников

1. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Б. М. Хрусталева [и др.]; под ред. Б.М. Хрусталева. – Минск : Дизайн ПРО, 1997.

УДК 697.7

Брень В. А., Лузянин П. С.

Научный руководитель: ассистент Мешик К. О.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

На сегодняшний момент общемировая энергетическая структура базируется на эксплуатации традиционных энергоресурсов. Условия их исчерпаемости формируют необходимость исследования возможностей применения возобновляемых энергоносителей в современных системах энергопотребления.

Возможность интенсификации процессов использования возобновляемых энергоресурсов оценивается исходя из их энергетического потенциала в рамках единого временного периода. Объемная часть энергетического потенциала в годовом периоде составляет [1]:

- 1) солнечная энергия – 2300 млрд тонн условного топлива;
- 2) энергия ветра – 26,7 млрд тонн условного топлива;
- 3) энергия биомассы – 10 млрд тонн условного топлива;

- 4) геотермальная энергия – 40 000 млрд тонн условного топлива;
- 5) энергия малых водотоков – 360 млрд тонн условного топлива;
- 6) энергия Мирового океана – 30 млрд тонн условного топлива.

Закономерный рост численности населения приводит к неизбежному динамическому увеличению энергопотребления. Согласно статистическим данным Международного энергетического агентства (МЭА) [2], к концу 2015 года энергопотребление на мировом уровне составило 20,76 трлн кВт·ч, а прогностические модели показывают увеличение до 33,4 трлн кВт·ч к 2030 году, до 41,3 трлн кВт·ч – к 2050 году. Рост интенсивности протекания процессов энергоэффективности реализации ископаемых энергоносителей закономерен, но сопровождается устойчивым наращиванием потребления традиционных энергоресурсов.

За последние 10 лет наблюдается динамика увеличения общемирового уровня установленной мощности возобновляемых энергоресурсов. В период с 2012 по 2021 показатель вырос на 52,87 % и на данный момент составляет 3,064 трлн Вт [3] (рисунок 1).

По данным [1], наибольшим энергетическим потенциалом располагают геотермальные энергоресурсы. Динамика роста геотермальной энергетики, установленная мощность которой составила 0,156 трлн Вт к концу 2021 года, демонстрирует увеличение на 33,01 % в обозначенном периоде [3] (рисунок 2).

Перспективным вариантом для частичного возмещения уровня потребления традиционных энергоресурсов геотермальными является их использование в качестве теплоисточника для систем водяного отопления. В качестве передаточного устройства могут использоваться тепловые насосы, позволяющие транспортировать теплоту низкотемпературного теплоисточника для предварительного нагрева теплоносителя. Рационализация экономических затрат с их применением должна устанавливаться из полноты покрытия издержек на перемещение и передачу теплоты, что зависит не только от концептуальных особенностей геотермальной системы отопления, но и качественных показателей теплоисточника.

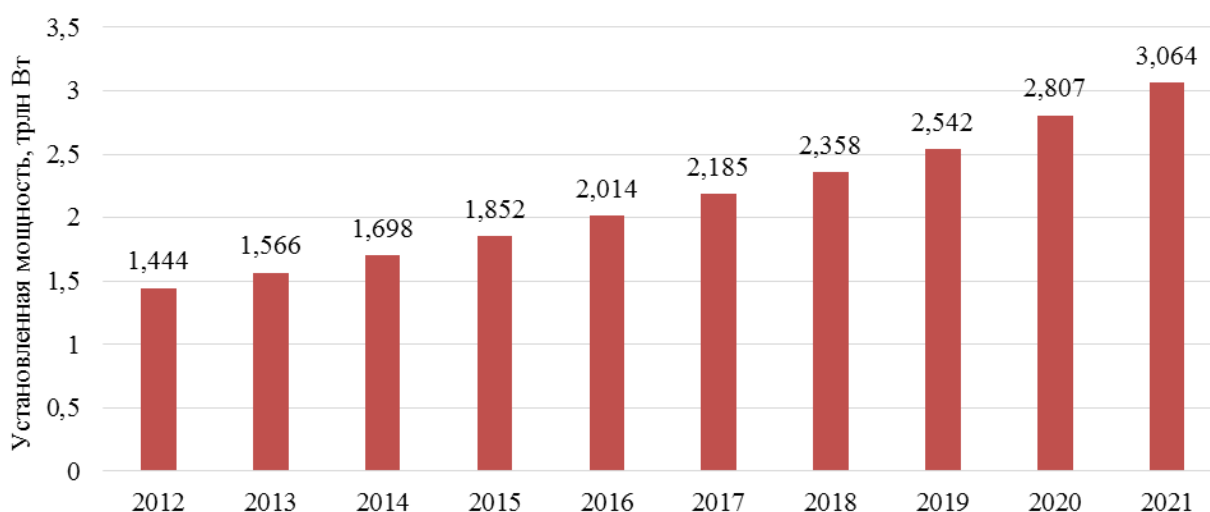


Рисунок 1 – Установленная мощность возобновляемых энергоресурсов 2012–2021 гг.

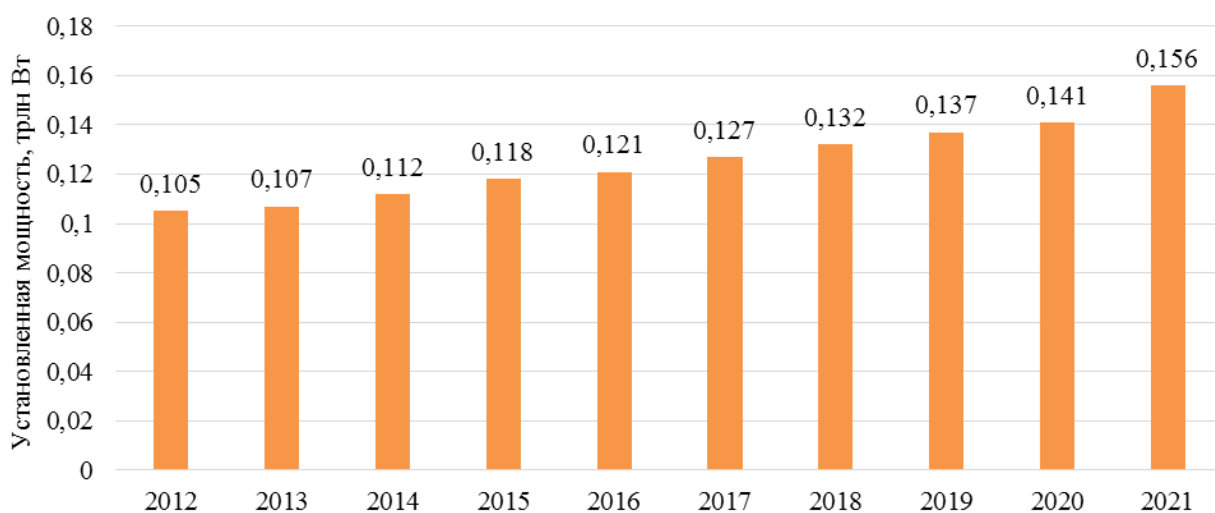


Рисунок 2 – Установленная мощность геотермальных энергоресурсов 2012–2021 гг.

При использовании теплового насоса типа «вода-вода» есть несколько вариаций: с использованием хладагента в качестве активного вещества теплопереноса и путем прямого изъятия теплоты подземных вод. Первый подход предусматривает наличие в непосредственной близости водоема, глубина которого превышает 3 метра от поверхностного уровня. Контур циркуляции хладагента пролегает в данной области, что создает условия изоляции от внешней температурных колебаний, а также обеспечивает постоянство положительного температурного фона. Второй подход предполагает использование двух активных скважин: одна – для забора воды с целью последующей теплопередачи, вторая – для возврата после реализации данного процесса.

Тепловые насосы типа «грунт-вода» предполагают использование трубопроводов, опускаемых в глубокую скважину. Эффективность вертикального контура в сравнении с горизонтальным заключается в постоянстве температуры грунта свыше 10 °С. Также весомым преимуществом является минимизация занимаемой площади. Наиболее популярные конструкционные решения вертикального контура предполагают двухступенчатый переход теплоносителя в рамках следующих стадий: подача вниз, сопровождающаяся первичным нагревом; возврат вверх, сопровождающийся вторичным нагревом. Тепловой потенциал напрямую зависит от характера и степени увлажненности грунта, теплопроводности трубопровода, а также от качества решений теплоизоляции в околоповерхностных уровнях скважины.

Принципиальная схема работы геотермального теплового насоса отображена на рисунке 3.

Эффективность реализации системы геотермального отопления напрямую зависит от температурного градиента грунта в рамках разрабатываемой скважины. При этом необходимо учитывать сезонное климатическое влияние для околоповерхностного слоя. Тогда температурный режим на установленной глубине может быть описан следующей корреляцией[4] (формула 1):

$$T = T_{\text{пов}} - T_{\text{амп}} \cdot \exp\left(-H \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}}\right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot \left[t_{\text{д}} - t_{\text{д}}^{\text{мин}} - \frac{H}{2} \cdot \sqrt{\frac{365}{\pi \cdot \alpha}}\right]\right), \quad (1)$$

где T – температурный режим грунта,

$T_{\text{пов}}$ – средняя температура поверхности,

$T_{\text{амп}}$ – амплитуда температуры поверхности,

H – глубина грунта, α – теплопроводность грунта,

$t_{\text{д}}$ – порядковый номер дня,

$t_{\text{д}}^{\text{мин}}$ – порядковый номер дня с минимальной температурой поверхности.

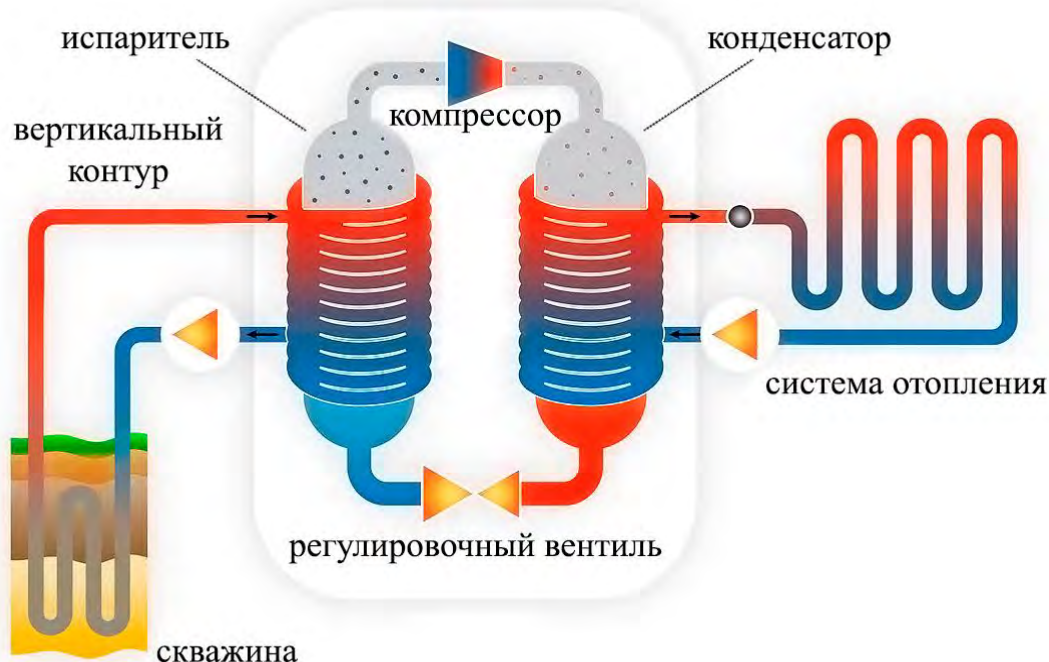


Рисунок 3 – Принципиальная схема работы геотермального теплового насоса

В рамках исследования средняя температура поверхности условно приравнивается среднесуточной температуре окружающей среды. В результате мониторинга установлены температурные показатели для г. Бреста в течение января 2022 года [5] (таблица 1). Выборка включает в себя среднесуточные температуры, определяемые на основе трехчасовых запросов.

Таблица 1 – Среднесуточные температуры в г. Бресте 01.01.2022–31.01.2022

01.01.22	02.01.22	03.01.22	04.01.22	05.01.22	06.01.22	07.01.22	08.01.22
7,25 °С	2,43 °С	7,78 °С	5,46 °С	5,15 °С	1,43 °С	-2,04 °С	-3,26 °С
09.01.22	10.01.22	11.01.22	12.01.22	13.01.22	14.01.22	15.01.22	16.01.22
-2,69 °С	-2,16 °С	-3,79 °С	-7,13 °С	-0,63 °С	4,13 °С	1,23 °С	-0,80 °С
17.01.22	18.01.22	19.01.22	20.01.22	21.01.22	22.01.22	23.01.22	24.01.22
1,33 °С	0,01 °С	-0,19 °С	0,13 °С	-1,33 °С	-1,89 °С	-2,78 °С	-5,98 °С
25.01.22	26.01.22	27.01.22	28.01.22	29.01.22	30.01.22	31.01.22	ср. в янв.
-0,96 °С	1,35 °С	1,25 °С	2,06 °С	0,68 °С	2,13 °С	0,14 °С	0,27 °С

Амплитуда температуры поверхности представляет собой разницу установленных максимумов и минимумов. Минимальная температура поверхности наблюдалась 12.01.2022 в 9:00 и составила – 11,4 °С. Данные показатели оказы-

вают наиболее существенное влияния на околоповерхностных глубинах, что может служить основанием для внедрения в эксплуатацию геотермального отопления с горизонтальным контуром.

Результаты исследования температурного режима в г. Бресте для 01.01.2022 отражены на рисунке 4. В качестве вариации глубин были приняты уровни в 1, 5, 10, 25, 50, 75, 100 метров.

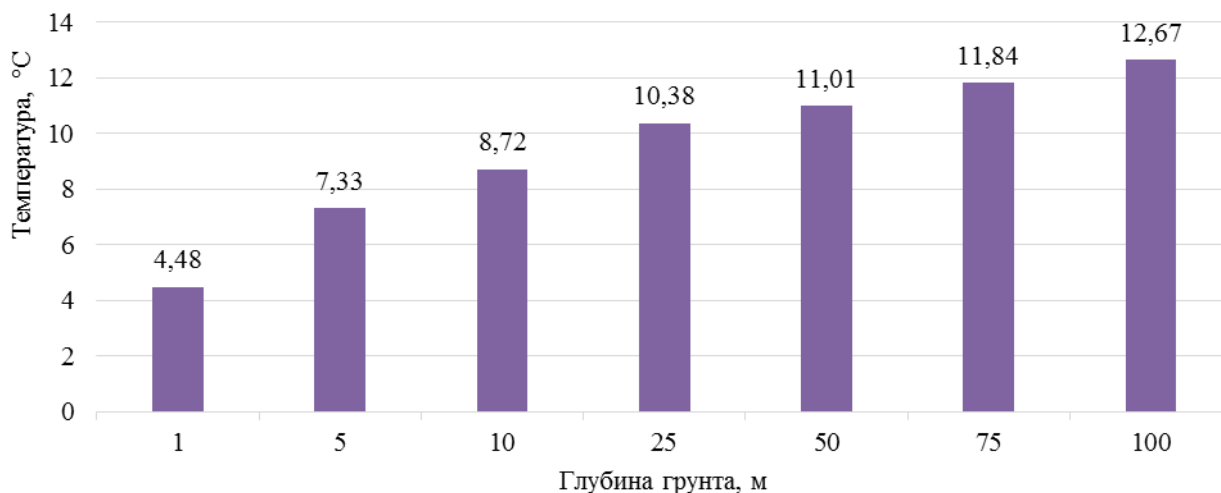


Рисунок 4 – Температурный режим грунтов г. Бресте 01.01.2022

С нарастанием глубины отмечается незначительность отклонений температуры. Наибольшие колебания сосредоточены в диапазоне 1–5 метров, что может быть актуально для эксплуатации геотермальных систем отопления с горизонтальным контуром. Однако полученные температурные показатели в среднем в 2,8 раза ниже более глубоких. В дальнейших исследованиях предполагается интенсификация учета состояния грунта. Основная задача – установление экономически обоснованной глубины скважины для реализации системы геотермального отопления в рамках частичного теплообеспечения многоквартирного жилого дома.

Список цитированных источников

1. Волчок, В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Солнечная энергетика: пособие / В. А. Волчок, В. Н. Комар. – Гродно : ГрГУ, 2017. – 55 с.
2. International Energy Agency [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/>. – Дата доступа: 20.04.2022.
3. Installed Capacity Trends [Электронный ресурс] / IRENA – International Renewable Energy Agency. – Режим доступа: <https://www.irena.org/>. – Дата доступа: 20.04.2022.
4. Florides, G. Measurements of Ground Temperature at Various Depths / G. Florides, S. Kalogirou // 3rd International Conference on Sustainable Energy Technologies. – Nottingham, UK. – 2004. – P. 1-6.
5. Архив погоды. Номер метеостанции 33008 (г. Брест, Беларусь) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://gr5.ru/Архив_погоды_в_Бресте_\(аэропорт\),_Беларусь.](https://gr5.ru/Архив_погоды_в_Бресте_(аэропорт),_Беларусь.) – Дата доступа: 20.04.2022.

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

За последние годы ветроэнергетику стали называть «зеленой» энергетикой, так как энергия ветра возникает в результате общепланетарных процессов, солнечной активности и ее можно считать неисчерпаемой.

Ветроэнергетика – это отрасль энергетики, связанная с разработкой методов и средств по преобразованию энергии ветра в механическую, электрическую или тепловую энергию [1]. Энергия ветра начинает занимать лидирующие позиции в мировой энергетике.

По данным Global Wind Energy Council, установленная мощность новых ветроэнергетических установок (ВЭУ) за 2020 год составляет 93 ГВт. Это на 53 % больше, чем в 2019 году. Ведущими странами в отрасли являются Китай и США, они установили в сумме более 75 % новых ВЭУ, что составляет больше половины ветроэнергетики всего мира, и общая ветроэнергетическая мощность составляет 743 ГВт.

Развитие ветроэнергетики в Республике Беларусь началось 15–20 лет назад. Энергосбережение для республики является одной из актуальных задач. Основными путями реализации программы энергосбережения в стране является «Стратегия развития энергетического потенциала Республики Беларусь».

Согласно установленному районированию территории Республики Беларусь с использованием данных о средних годовых фоновых и расчетных скоростях ветра на пунктах гидрометеорологических наблюдений, с учетом абсолютных отметок над уровнем моря, площадь территории для размещения ВЭУ равна 41512 км² [2].

Объектом исследования в работе является оценка ветроэнергетического потенциала Республики Беларусь. На сегодняшний день, согласно кадастру возобновляемых источников энергии на территории Беларуси, действует 112 ВЭУ [3]. Оценка потенциала произведена на примере трех действующих ВЭУ на территории страны, основные технические характеристики которых приведены в таблице 1.

При расчете оценки технического потенциала ветровой энергетики скорость ветра меньше 3 м/с не рассматривалась, так как стартовая скорость ветра ВЭУ равна 3 м/с [2].

Территория, пригодная для размещения ВЭУ со стартовой скоростью ветра 3 м/с и 5 м/с, на высоте мачт 40 м, 60, 80 м, равна 499 км² и 41512 км² соответственно.

Мощность ВЭУ при заданной скорости и диаметре ветроколеса определяется как [4]

$$P_{\text{вэу}} = \frac{1}{2} * \frac{1}{4} * 3,14 * D^2 * C_p * \rho * V^3 * (\eta_{\text{мех}} * \eta_{\text{эл}}), \quad (1)$$

где $P_{взу}$ – установленная мощность ВЭУ, Вт;

D – диаметр ветроколеса, м;

V – скорость ветра, м/с;

C_p – коэффициент использования энергии ветрового потока, 0,45;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

$\eta_{мех} * \eta_{эл}$ – суммарный КПД механических элементов силового тракта установки, 0,9.

Таблица 1 – Технические характеристики ветроэнергетических установок, эксплуатируемых на территории Беларуси

MICON M 530		JACOBS 41/500		NEG Micon NM 1000/60	
Диаметр ротора, м	26	Диаметр ротора, м	41	Диаметр ротора, м	60
Стартовая скорость ветра, м/с	5	Стартовая скорость ветра, м/с	3	Стартовая скорость ветра, м/с	3
Высота мачты, м	40	Высота мачты, м	60	Высота мачты, м	80
Время работы в год, ч	8760	Время работы в год, ч	8760	Время работы в год, ч	8760
Площадь для размещения ВЭУ, км ²	499	Площадь для размещения ВЭУ, км ²	41512	Площадь для размещения ВЭУ, км ²	41512

Работа одной ВЭУ рассчитывается по формуле [4]

$$W_{взу} = P_{взу} * 8760, \quad (2)$$

где $P_{взу}$ – установленная мощность ВЭУ, Вт.

Расстояние между турбинами измеряется в диаметрах ветроколеса, так как аэродинамическое затенение зависит от его размера. Так как в работе оценивается технический потенциал ветроэнергетики на всей территории Беларуси, не были приняты никакие ограничения при расчетах и в качестве площадки рассматривалась вся площадь страны, а в качестве схемы размещения ВЭУ была принята следующая схема: ВЭУ размещены в ряд, расстояние между ВЭУ в одном ряду составляет 5 диаметров ветроколеса ($5*D$), а расстояние между рядами – 7 диаметров ветроколеса ($7*D$) (рисунок) [4].

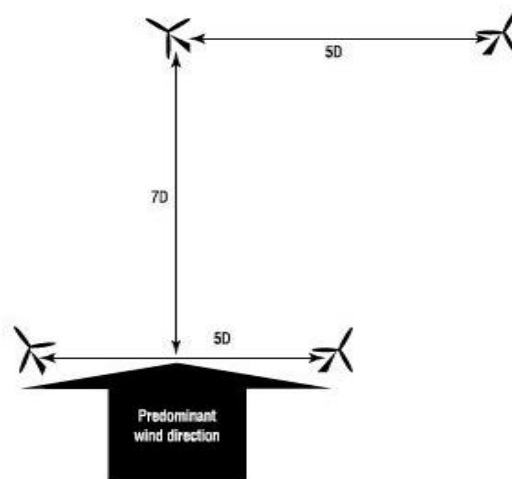


Рисунок 1 – Оптимальная схема размещения ВЭУ на площади

В результате принятых выше допущений определяем возможное количество ветроустановок в каждой зоне распределения среднегодовой скорости ветра [4]

$$N_{уст.} = \frac{S_T}{(7D*5D)}, \quad (3)$$

где $N_{уст.}$ – возможное количество ветроустановок в каждой зоне распределения среднегодовой скорости ветра, шт;

S_T – площадь территории, на которой рассчитывается технический потенциал, m^2 ;

$(7D*5D)$ – площадь, необходимая для одной ВЭУ, m^2 .

Технический потенциал ветровой энергии в ГВт*час/год определяется следующей формулой [4]:

$$W_{ТехВЭУ} = W_{ВЭУ} * N_{уст.} * K_{загр}, \quad (4)$$

где $W_{ТехВЭУ}$ – технический потенциал ветровой энергии, ГВт*час/год;

$K_{загр} = 0,5$ – коэффициент использования ВЭУ (принимается условно).

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов

MICON M 530		JACOBS 41/500		NEG Micon NM 1000/60	
Установленная мощность ВЭУ $P_{ВЭУ}$, Вт	1654,61	Установленная мощность ВЭУ $P_{ВЭУ}$, Вт	8838,17	Установленная мощность ВЭУ $P_{ВЭУ}$, Вт	18927,66
Работа одной ВЭУ $W_{ВЭУ}$, ГВт.час/год	$0,14*10^9$	Работа одной ВЭУ $W_{ВЭУ}$, ГВт.час/год	$0,07*10^9$	Работа одной ВЭУ $W_{ВЭУ}$, ГВт.час/год	$0,16*10^9$
Количество установок $N_{установок}$, шт	21090	Количество установок $N_{установок}$, шт	705566	Количество установок $N_{установок}$, шт	329460
Технический потенциал ветровой энергии $W_{ТехВЭУ}$, ГВт*час/год	1476,3	Технический потенциал ветровой энергии $W_{ТехВЭУ}$, ГВт*час/год	24694,82	Технический потенциал ветровой энергии $W_{ТехВЭУ}$, ГВт*час/год	26356,8

Примечание – результаты расчетов получены в предположении использования ВЭУ всей территории Беларуси

В заключении необходимо сделать вывод: при оценки ветроэнергетического потенциала Беларуси установка ВЭУ марки NEG Micon NM 1000/60 наиболее экономически выгодная.

Список цитированных источников

1. Витченко, А. Н. Современное состояние и тенденции изменения климата города Минска / А. Н. Витченко, И. А. Телеш // Современная экология: образование, наука, практика. Материалы международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 4–6 октября 2017 г.) / Под общей редакцией проф. В. И. Федотова и проф. С. А. Куролапа. – Воронеж : Научная книга, 2017. – Том 1. – С. 411–418.

2. Порядок оценки ветроэнергетического потенциала при размещении ветроэнергетических установок на территории Республики Беларусь=Парадак ацэнкі ветраэнергетычнага патэнцыяла пры размяшчэнні ветраэнергетычных устаноў на тэрыторыі Рэспублікі Беларусь : ТКП 17.10-39-2012 (02120). – Введ. 01.07.2012. – Минск : Республиканский гидрометеорологический центр, 2012. – 15 с.

3. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] / Минприроды Респ. Беларусь. – Минск, 2022. – Режим доступа: http://www.minpriroda.gov.by/ru/new_url_19948904-ru/. – Дата доступа: 19.05.2022.

4. Мингалеева, Р. Д. Оценка технического потенциала ветровой и солнечной энергетики России / Р. Д. Мингалеева, В. С. Зайцев, В. В. Бессель // Территория Нефтегаз. – 2014. – № 3. – С. 82–90.

УДК 697.148

Джейгало В. В., Жук В. Г.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Новосельцева Д. В.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ДОМОВ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

Из-за стремления к экономии энергоресурсов вопрос об организации достаточного воздухообмена отошёл на второй план. Массово стали устанавливать пластиковые окна вместо деревянных, в связи с их дешевой стоимостью и снижением затрат на отопление. Специалисты оценивают долю тепловых затрат на нагрев вентиляционного воздуха в 50–70 % от общих затрат на обогревание жилья (для домов с современными энергосберегающими окнами и теплыми стенами).

В современных жилых домах особое внимание должно уделяться организации воздухообмена. Заменяя окна, жильцы через какое-то время начинают ощущать нехватку свежего воздуха в квартире. Решетки на кухне, в ванной и туалете – это пути выхода отработанного воздуха. Без входа свежего воздуха через окно вытяжка не работает. Ухудшение естественной циркуляции воздуха приводит:

- к образованию конденсата на окнах и откосах;
- росту плесени;
- появлению неприятных запахов;
- развитию заболеваний дыхательной системы.

Проблемы с вентиляцией, возникающие одновременно с применением герметично закрывающихся окон, нельзя решать старыми техническими средствами, рассчитанными на приток наружного воздуха через многочисленные щели в окнах. Не решают проблему и различные способы "микровентиляции", предлагаемые производителями профилей ПВХ. При таком способе небольшое количество внешнего воздуха через отверстия и щели, организованные в самом оконном профиле, попадает внутрь помещения и, разбавляя влажный воздух в районе оконной ниши, снижает вероятность запотевания стеклопакета. Но количество воздуха в 1–2 куб. м в час никак не соответствует нормам по притоку воздуха (30–60 куб. м в час).

В жилых помещениях должен быть организован именно постоянный и контролируемый процесс вентилирования. Мы предлагаем сделать это с помощью пассивного приточного устройства, такого как оконный клапан (рисунок 1). Он предназначен для обеспечения помещений свежим воздухом. Такой приточный клапан можно устанавливать в оконные рамы различных размеров в квартирах, коттеджах, офисных зданиях.

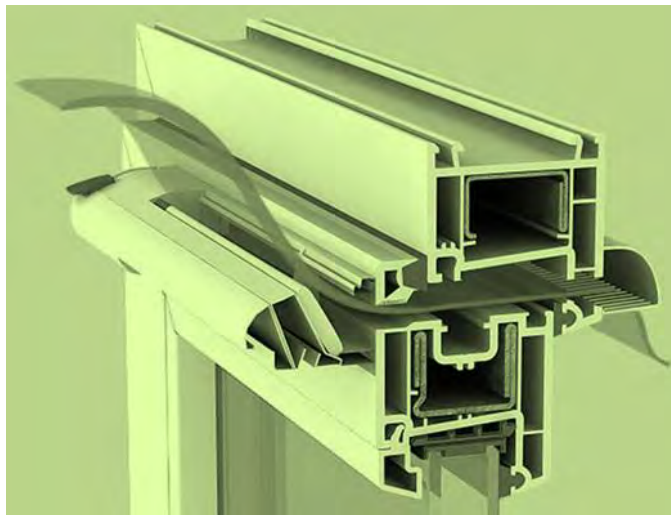


Рисунок 1 – Оконный приточный клапан

Например, стоимость клапана фирмы Air-Vox ECO с фильтром класса G3 составляет 26 бел. руб [1].

Таким образом можно решить проблему нехватки свежего воздуха в жилых помещениях при относительно малых затратах. При этом с помощью клапана можно регулировать воздухообмен, что позволяет снизить теплопотери.

Цель исследования – снижение тепловых потерь и организация комфортных параметров воздуха в помещении с помощью приточного клапана.

Объектом исследования является многоквартирный 7-этажный жилой дом в городе Горки (рисунок 2). Общая площадь дома 3452 м².

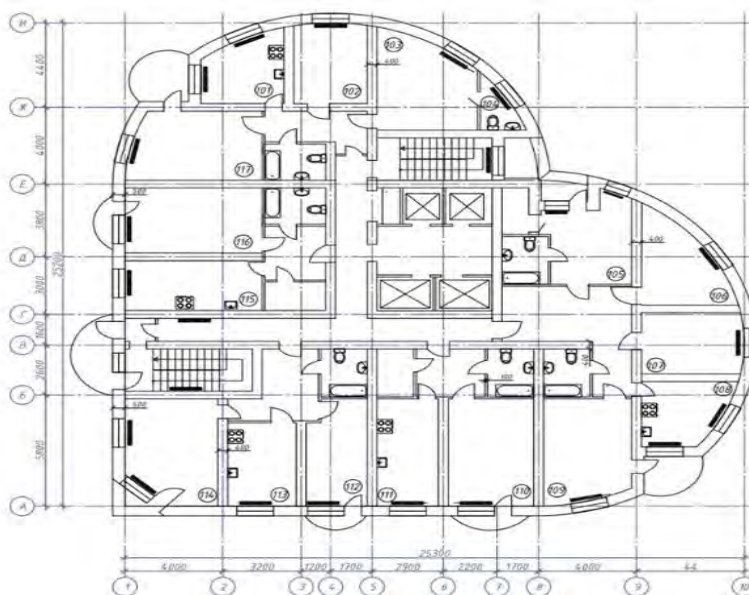


Рисунок 2 – План типового этажа жилого дома

В данной работе пересмотрены значение $Q_{инф}$ – расход теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха через ограждающие конструкции помещения.

Нет необходимости поступления воздуха в помещение круглосуточно, так как определенную часть времени люди находятся вне дома.

Расчёты ведутся, учитывая постоянный приток инфильтрующегося воздуха. Мы учли среднее время отсутствия в будние дни большей части населения дома: с 9 до 17 часов.

Произведен расчёт теплопотерь для двух ситуаций: при постоянном притоке воздуха и переменном в зависимости от времени суток.

Продолжительность отопительного сезона для г. Горки составляет 205 дней [2]. За расчетную температуру наружного воздуха принята не температура наиболее холодной пятидневки (-26°C), а средняя за отопительный период (-1.8°C) [2].

Теплопотери были рассчитаны по формуле (1)

$$Q_o = \Sigma Q + Q_{инф} - Q_{быт} * (1 - \eta), \text{Вт} \quad (1)$$

где ΣQ – основные и добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции помещения, Вт;

$Q_{инф}$ – расход теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха через ограждающие конструкции помещения, Вт;

$Q_{быт}$ – бытовые тепловыделения, регулярно поступающие в помещения здания от электрических приборов, освещения, людей и других источников, Вт;

η – коэффициент, зависящий от типа системы отопления и способа регулирования [3].

В таблице 1 приведены итоговые результаты расчетов значения теплопотерь за отопительный период в гигакалориях и в денежном эквиваленте.

На 2022 год стоимость 1 Гкал составляет 21,9245 бел. руб. по субсидированному тарифу [4].

Таблица – Итоговые результаты расчета

Данные	Теплопотери за отопительный период, Гкал	Денежные затраты на отопление всего дома, бел. руб	Денежные затраты на отопление 1 м ² , бел. руб	Экономия, %
Постоянное $Q_{инф}$	204	4472,6	9,07	0
Переменное $Q_{инф}$	166	3639,5	7,38	19

Таким образом, для ситуации с постоянным притоком инфильтрующегося воздуха теплопотери на порядок выше. А благодаря регулированию поступающего приточного воздуха получаем экономию в размере 19 % без вреда для микроклимата в помещении.

В случае применения приточного клапана и его регулирования мы получим вентиляцию по потребностям без всех недостатков конструкции окон ПВХ.

Список цитированных источников

1. Поставщик комплектующих для окон, дверей и мебели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tbmmarket.ru/>. – Дата доступа: 20.04.2022.
2. Строительная климатология: Изменение №1 СНБ 2.04.02-2000.– Введ. 01.07.2004. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2007. – 35 с.
3. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СН4.02.03-2019. – Введ. 16.12.2019 (с отменой СНБ 4.02.01-03) . – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2019. – 69 с.
4. Финансовый портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://myfin.by/>. – Дата доступа: 24.04.2022.

УДК 556.13 (476)

Зарецкая Е. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Зубрицкая Т. Е.

ИЗМЕНЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Исследование последствий прогнозируемого потепления климата является одной из главных проблем современной науки. Испарение с водной поверхности – одна из основных составляющих круговорота воды в природе и, следовательно, выступает чувствительным индикатором изменений большинства климатических факторов. Изменение скорости испарения серьезным образом повлияет на функционирование природных экосистем, что в свою очередь потребует пересмотра принципов и подходов в природопользовании.

Основу исследований составили многолетние ряды наблюдений за испарением с водной поверхности за период с 1952 по 2015 гг. по станции Василевичи и с 1972 по 2015 гг. по станции Полесская, полученные Республиканским гидрометеоцентром.

С помощью программного комплекса «Гидролог» получены основные статистические характеристики временных рядов наблюдений за испарением с водной поверхности в месячном разрезе и их обеспеченные величины (таблица).

Для определения коэффициента асимметрии с требуемой точностью необходим ряд наблюдений более 150 лет, поэтому для уточнения этого параметра использовался прием пространственно-временного объединения рядов.

В результате были получены следующие величины коэффициентов асимметрии: $C_s^V = 0,58$; $C_s^{VI} = 0,61$; $C_s^{VII} = 1,12$; $C_s^{VIII} = 0,23$; $C_s^{IX} = 0,09$; $C_s^X = 0,25$; $C_s^{B.п.} = 0,49$. При их моделировании использовалось два типа распределения: трехпараметрическое гамма-распределение и распределение Пирсона III типа.

Как показали исследования, ряды наблюдений могут описываться обоими видами распределений, однако, предпочтение следует отдавать распределению Пирсона III типа, которое в большинстве случаев лучше аппроксимирует эмпирические точки распределения испарения.

Таблица – Значение величин испарения с водной поверхности на территории Белорусского Полесья

Интервал осреднения	Средняя величина, мм	Минимальное значение, мм/год	Максимальное значение мм/год	Коэффициент вариации	Коэффициент асимметрии	Число лет наблюдений	Обеспеченные величины, мм						
							5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	95 %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Метеостанция Василевичи													
Май	100,0±2,2	$\frac{57}{1991}$	$\frac{144}{1954}$	0,16	-0,1	50	125	119,9	110,9	100,5	89,8	79,5	73,2
Июнь	106,6±3,4	$\frac{68}{1997}$	$\frac{168}{1964}$	0,23	0,65	50	152,8	140,4	121,6	104,0	89,2	78,3	73,1
Июль	106,7±3,6	$\frac{72}{1993}$	$\frac{171}{1959}$	0,24	0,57	50	155,8	142,6	122,7	104,0	88,3	76,7	71,2
Август	94,2±3,0	$\frac{48}{1977}$	$\frac{157}{1992}$	0,23	0,8	50	136,3	124,4	106,9	91,2	78,6	69,8	65,6
Сентябрь	60,4±2,7	$\frac{42}{1980}$	$\frac{91}{1983}$	0,21	0,72	50	84,9	77,8	67,6	58,3	50,9	45,7	43,2
Октябрь	32,4±0,7	$\frac{23}{1977}$	$\frac{44}{1958}$	0,16	0,08	50	41,0	39,1	35,9	32,4	28,9	25,8	23,9
Метеостанция Полесская													
Май	90,0±3,9	$\frac{61}{1987}$	$\frac{135}{2011}$	0,19	0,58	30	123,7	114,8	101,2	88,5	77,7	69,8	66,1
Июнь	94,9±4,7	$\frac{56}{1985}$	$\frac{156}{2012}$	0,21	0,61	30	132,2	122,5	107,6	92,9	80,0	70,1	64,9
Июль	97,2±4,4	$\frac{59}{1990}$	$\frac{171}{1999}$	0,25	1,12	30	146,4	131,2	110,2	92,6	80,0	72,3	69,1
Август	88,8±3,8	$\frac{61}{1985}$	$\frac{127}{1999}$	0,19	0,23	30	119,2	111,7	99,8	87,6	76,5	67,5	62,5
Сентябрь	55,5±3,3	$\frac{29}{1990}$	$\frac{83}{1997}$	0,25	0,09	30	79,4	73,8	64,6	55,1	45,8	37,7	33,2
Октябрь	33,8±1,2	$\frac{20}{2001}$	$\frac{48}{1973}$	0,2	0,25	30	45,7	42,9	38,4	33,6	29,0	25,1	22,8

Временной ход колебаний испарения отслеживался с помощью хронологических графиков, разностных интегральных кривых, автокорреляционных функций и динамических средних.

На разностных интегральных кривых испарения с водной поверхности по метеостанциям Василевичи и Полесская в разрезе вегетационного периода наблюдается тенденция изменения испарения, причем эти процессы имеют разную направленность. Как по станции Василевичи, так и по станции Полесская, с 70-х годов тенденции склонны к уменьшению испарения, которое вызвано уменьшением скорости ветра [1, 2], фактором, существенно влияющим на скорость испарения. Однако, начиная с 90-х годов, происходит расхождение по этим двум станциям. По станции Василевичи идет дальнейшее уменьшение испарения, а по станции Полесская явно прослеживается рост испарения с водной поверхности, что вероятней всего вызвано изменением климата, а именно повышением температуры.

Для выявления периодов колебаний и цикличности [3] использовались функции сглаживания с использованием скользящей средней арифметической по формуле

$$\bar{E}_i = \frac{1}{T} \cdot \sum_{k=-\frac{T-1}{2}}^{\frac{T-1}{2}} E_{i+k},$$

где \bar{E}_i – сглаженные колебания величин испарения;

E_i – величины испарения ($i=1, 2, 3, \dots, n$);

n – число членов ряда;

T – интервал осреднения.

В результате анализа выборочных средних испарений по метеостанции Василевичи статистически значимые различия были установлены только за июнь месяц. В этот месяц весенние влагозапасы уже истощились и суммарное испарение определяется режимом атмосферных осадков. Как показали исследования В. Ф. Логинова [4], уже в настоящий момент в Белорусском Полесье произошли изменения в режиме атмосферных осадков, что и сказалось на суммарном испарении.

Также использовались автокорреляционные функции для различных временных сдвигов ($\tau = 1, 2, 3$, и т. д. годами). На рисунке представлены автокорреляционные функции.

Как видно из рисунка, четко прослеживаются пятилетние циклы, что определено теплоэнергетическими ресурсами, автокорреляционные функции которых имеют идентичную картину [5].

Таким образом, можно констатировать о наметившейся тенденции изменения режима испарения на территории Белорусского Полесья, вызванные природными и антропогенными факторами. Происходящие процессы рознятся как по территории, так и по скорости самих процессов, которые будут усиливаться в связи с прогнозируемым изменением климата.

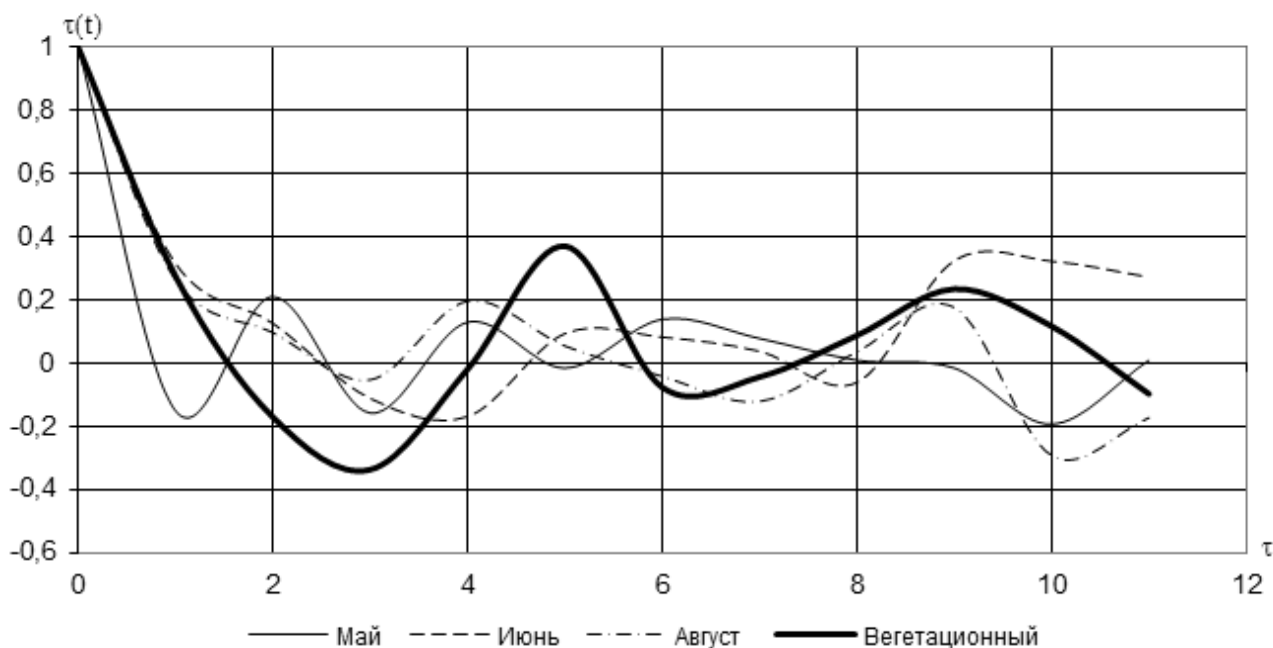


Рисунок 1 – Автокорреляционные функции суммарного испарения по метеостанции Василевичи

Поставленная проблема требует всесторонних дальнейших исследований, так как изменение испарения потребует пересмотра нормативов при проектировании водохозяйственных систем и разработки компенсационных мероприятий.

Список цитированных источников

1. Климат Беларуси / Под ред. В. Ф. Логинова. – Минск.: Институт геологических наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.
2. Гриневич, А. Г., Оценка влияния возможного глобального потепления на водные ресурсы и водное хозяйство / А. Г. Гриневич, В. Н. Плужников // Природные ресурсы. – 1997. – № 2. – С. 49–54.
3. Волчек, А. А. Пространственно-временные колебания суммарного испарения на территории Беларуси / А. А. Волчек // Вестник БПИ. – 2000. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – С. 17–23.
4. Природная среда Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова; НАН Беларуси. Ин-т пробл. использования природ. ресурсов и экологии. – Минск.: НОООО «БИП-С», 2002. – 424 с.
5. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Изд. БГУ, 2002. – 440 с.

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДОЕМОВ МАЛЫХ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ ЗА КАЛЕНДАРНЫЙ ГОД

В ходе влияния человека на геоэкологическую среду водоемы, почвы и воздух загрязняются. Водоемы, используемые для сброса сточных вод промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных предприятий, с которыми поступает большое количество различных токсичных веществ, губительных для их обитателей [1].

Помимо загрязнения водоемов, наблюдается процесс их «антропогенного эвтрофирования», следствием чего является «цветение воды», зарастание, заиление водоемов. Ухудшается газовый режим, снижается видовое разнообразие организмов, создаются неблагоприятные условия для нагула и воспроизводства ценных видов рыб. В результате всех этих отрицательных явлений, связанных с хозяйственной деятельностью человека, возникли проблемы ухудшения качества воды и потери рекреационной ценности водоемов [1, 2].

Как следствие такой деятельности человека, экологическое состояние городских водоемов напрямую зависит от степени антропогенной трансформации водоемов и их водосборов и характеризуется уровнем загрязнения воды. Таким образом, возникла необходимость изучения тенденций изменения их экологического состояния.

Цель работы

Исследовать тенденции изменения гидрохимического состояния водоёмов малых населенных пунктов в течение календарного года.

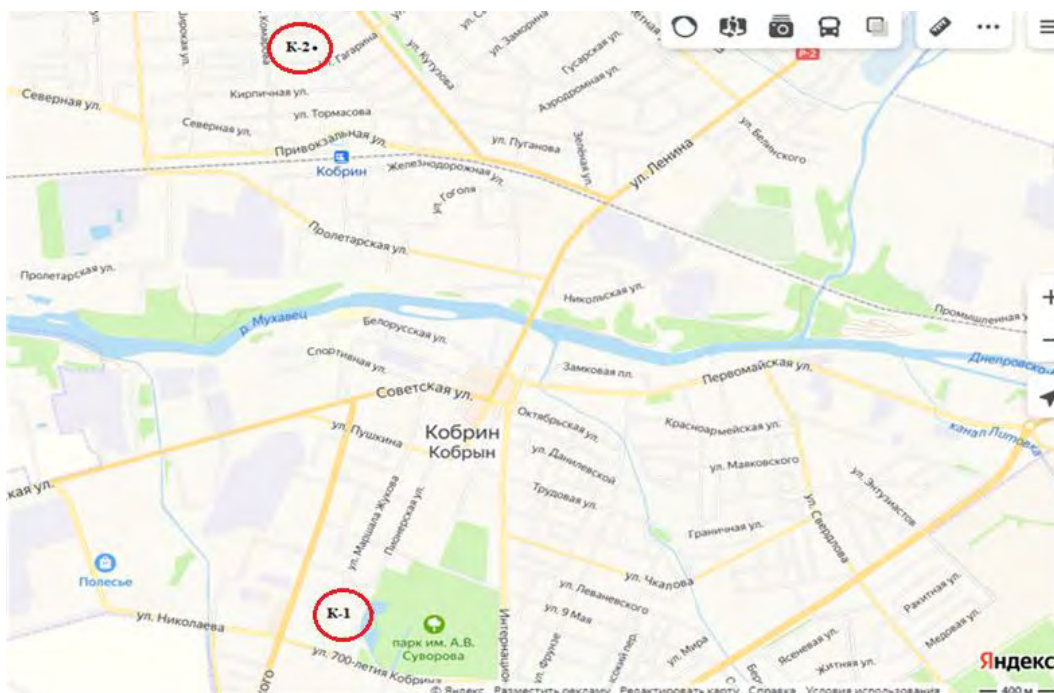
Методы и объекты исследования

Объектом исследования являлись урбанизированные водоемы малых населенных пунктов Беларуси на примере городских водоемов бассейна р. Мухавец с разной степенью антропогенного влияния и площадью водного зеркала до 1 км². При планировании точек отбора проб была выбрана группа водоемов, наиболее представленная среди всех групп в городской среде, где возможна репрезентативная выборка. Исследование урбанизированных водоемов проводилось в г. Кобрине и г. Жабинке Брестской области Республики Беларусь (рисунок 1, 2).

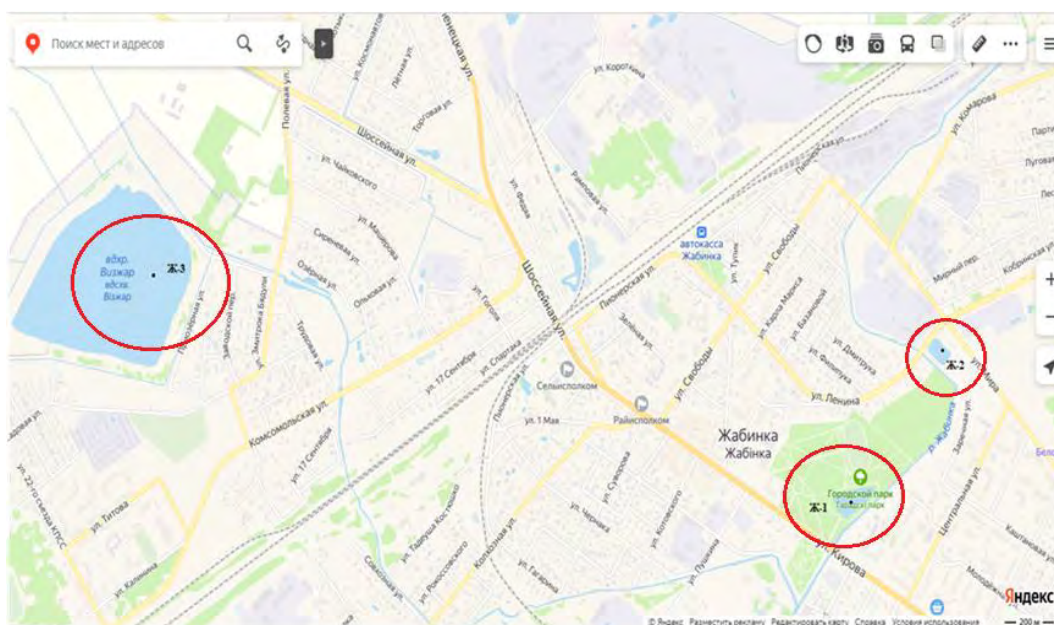
Исследовали следующие компоненты и показатели гидрохимического состава воды водоёмов: рН (потенциометрическим методом), жесткость общая (титриметрическим методом), ХПК (титриметрическим методом), растворенный кислород и БПК₅ (йодометрическим методом), титриметрическим методом содержание ионов – HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , $\text{Fe}_{\text{общ}}$ (фотометрическим методом), PO_4^{3-} (фотометрическим методом), катионы Na^+ и K^+ (расчетным методом).

Результаты и обсуждение

Результаты исследований экологического состояния урбанизированных водоемов по гидрохимическим показателям указаны в таблицах 1 и 2 (желтое выделение – незначительное превышение нормативов, красным – превышение в 2 и более раз).



К-1 – парковый пруд, К-2 – пруд в районе частного сектора
Рисунок 1 – Картограмма расположения объектов исследования г. Кобрин



Ж-1 – парковый пруд, Ж-2 – пруд «Мухина яма», Ж-3 – вдхр «Визхар»
Рисунок 2 – Картограмма расположения объектов исследования г. Жабинки

Во всех исследуемых водоемах по таким гидрохимическим показателям, как рН (кроме К-1 весна), растворенный кислород, содержание ионов кальция, магния (кроме К-2 весна), натрия и калия, гидрокарбонат-ионов, хлоридов, сульфатов, фосфатов, общая минерализация соответствуют нормам для водных объектов населенных пунктов и рекреационных зон. Содержание железа общего превышает ПДК для всех водоемов в несколько раз, это характерно для водных объектов исследуемого региона [3].

Таблица 1 – Показатели гидрохимического состояния воды типичных водоемов г. Кобрин в 2020 г.

Показатели	Норматив, ПДК	Кобрин							
		К-1 зима	К-2 зима	К-1 весна	К-2 весна	К-1 лето	К-2 лето	К-1 осень	К-2 осень
рН	6,5-8,5	8,0	7,98	8,78	8,46	8,13	7,34	8,45	7,59
Жесткость, мг-экв/дм ³	-	4,9	4,29	4,78	11,90	5,16	4,16	5,78	5,74
ХПК, мг/дм ³	15	-	6,12	9,51	26,43	12,84	14,22	15,17	21,47
Растворенный кислород, мг/дм ³	Не менее 4	25,69	12,65	15,18	8,20	18,12	12,54	19,37	14,18
БПК ₅ , мг/дм ³	1 – 3	24,64	-	9,15	4,82	12,7	6,73	19,53	8,15
НСО ₃ ⁻ , мг/дм ³	-	17,1	252,54	87,59	156,57	105,53	202,48	78,29	234,64
Са ²⁺ , мг/дм ³	180	51,77	64,73	63,71	142,28	59,82	109,31	64,15	114,7
Мg ²⁺ , мг/дм ³	40	28,17	12,81	39,14	58,35	35,22	34,75	29,64	31,47
Сl ⁻ , мг/дм ³	300	64,79	99,44	95,46	95,85	87,19	96,18	99,36	99,15
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	500	46,08	92,16	52,70	161,09	51,64	109,47	47,14	112,33
Fe _{общ} , мг/дм ³	0,3	1,3	0,9	1,12	0,42	0,74	0,56	1,42	0,94
PO ₄ ³⁻ , мгР/дм ³	3,5 (1,1)	0,00652	0,0287	0,004	0,0074	0,009	0,012	0,013	0,0197
Na ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³	120	2,3	105,11	64,77	94,52	51,39	87,16	44,81	97,53
Общая минерализация, мг/дм ³	1000	203	502	327	348	312	356	339	412
СПАВ анионактивные, мг/дм ³	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Анализ полученных данных показал, что превышение нормативов по таким показателям качества воды в водоеме, как ХПК, БПК₅, PO₄³⁻ летом и осенью 2020 г., может быть связано с попаданием ливневых стоков с газонов, дорожек и тропинок парка имени А. В. Суворова (внесение удобрений при подкормке растительности) и пруда по ул. Полесской в г. Кобрине. Эти показатели для паркового пруда и пруда «Мухина яма» в г. Жабинке значительно ниже чем соответствующие в Кобрине.

Экологическое состояние урбанизированных водоемов определяли по кратности превышения нормативов для городских водоемов и рекреационных зон.

С целью определения эстетической роли городских водоемов установлен трофический уровень урбанизированных водоемов. Оценка трофо-сапробного уровня урбанизированных водоемов проводилась согласно ГОСТ 17.1.2.04–77 [4]. Согласно полученных данных исследуемые водоемы загрязнены органическими веществами (БПК₅, ХПК), солями аммония и фосфатами.

Экологическое состояние городских прудов определялось по наибольшему показателю уровня загрязнения воды при сравнении значений согласно кратности превышения ПДК и трофо-сапробного уровня. В таблице 3 показаны сравнительные данные по этим показателям.

Таблица 2 – Показатели гидрохимического состояния воды типичных водоемов г. Жабинки в 2020 г.

Показатели	Норматив, ПДК	Жабинка								
		Ж-1 зима	Ж-2 зима	Ж-3 зима	Ж-1 весна	Ж-2 весна	Ж-3 весна	Ж-1 лето	Ж-2 лето	Ж-3 лето
pH	6,5-8,5	8,14	7,82	8,02	8,04	7,73	7,87	7,92	7,52	7,54
Жесткость, мг-экв/дм ³	-	4,77	8,59	6,18	4,93	9,40	6,63	4,58	8,93	5,82
ХПК, мг/дм ³	15	4,16	7,04	9,11	5,34	18,4	10,03	8,62	15,17	13,56
Растворенный кислород, мг/дм ³	Не менее 4	3,81	13,0	12,43	3,42	8,70	9,44	3,04	11,78	11,52
БПК ₅ , мг/дм ³	1 – 3	0,53	5,42	5,78	1,17	1,29	4,16	1,95	4,05	5,91
НСО ₃ ⁻ , мг/дм ³	-	158,6	247,66	298,15	173,29	268,4	234,66	186,50	254,34	262,87
Са ²⁺ , мг/дм ³	180	79,16	130,0	108,41	68,32	152,3	111,04	77,36	151,03	97,15
Mg ²⁺ , мг/дм ³	40	9,93	30,27	45,72	12,36	21,88	33,61	15,45	28,68	35,74
Cl ⁻ , мг/дм ³	300	59,9	186,4	98,15	56,17	186,38	103,06	62,12	191,07	97,55
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	500	105,6	269	134,2	99,34	307,28	162,14	101,15	294,30	112,77
Fe _{общ.} , мг/дм ³	0,3	0,85	1,05	1,23	1,12	1,5	1,48	0,83	1,66	1,16
PO ₄ ³⁻ , мгP/дм ³	3,5 (1,1)	0,002	0,00717	0,0153	0,0009	0,0003	0,0107	0,004	0,009	0,0189
Na ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³	120	51,29	147,43	87,35	57,22	112,51	78,06	69,17	109,75	84,42
Общая минера- лизация, мг/дм ³	1000	385,18	886,93	374,33	396,52	893	408,15	348,64	824	386,13
СПАВ анионак- тивные, мг/дм ³	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Таблица 3 – Экологическое состояние исследуемых урбанизированных водоемов в 2020 г.

Водоём	Уровень загрязнения / Экологическое состояние		
	По кратности превышения ПДК	По трофо-сапробному уровню	Итого
Парковый пруд, Кобрин	Среднее / удовлетворительное	Грязные / плохое	плохое
Пруд по ул. Полесской, Кобрин	Среднее / удовлетворительное	Грязные / плохое	плохое
Парковый пруд, Жабинка	Хорошее	Среднее / удовлетворительное	удовлетворительное
Пруд «Мухина яма», Жабинка	Хорошее	Среднее / удовлетворительное	удовлетворительное
Пруд «Вдхр. Визжар», Жабинка	Среднее / удовлетворительное	Грязные / плохое	плохое

Заключение

Таким образом, загрязнение воды водоёмов зависит от видов антропогенного воздействия и заключается в повышении содержания солей магния, хлоридов, фосфатов, органических веществ (ХПК, БПК₅), загрязняющих веществ (анионоактивных СПАВ, нефтепродуктов). В наибольшей степени загрязнение происходит органическими веществами и в летне-осенний период года. Следовательно, данные водоемы не могут быть использованы для активной рекреации.

Исходя из кратности превышения ПДК, городские пруды загрязнены легко окисляемыми и биогенными веществами, наблюдаются характерные признаки эвтрофирования. Следовательно, пруд по ул. Полесской и парковый пруд г. Кобрин, а так же «водохранилище Визжар» г. Жабинки характеризуется плохим экологическим статусом, для улучшения их состояния необходимы меры по реабилитации. Пруд «Мухина яма» и парковый пруд г. Жабинки обладают удовлетворительным экологическим состоянием, однако для поддержания и улучшения его статуса необходимо проводить профилактические меры.

Изучение экологического состояния урбанизированных водоемов открывает возможности практического решения многих задач по определению степени антропогенного воздействия на водоем, возможности его эксплуатации, а так же защиты окружающей среды от воздействия загрязняющих поверхностные воды веществ.

Список цитированных источников

1. Кириченко, Л. А. Проблемы мониторинга малых водных объектов урбанизированных территорий /Л. А. Кириченко // Мелиорация и сельское строительство. Поиск молодежи : Сборник научных трудов студентов, магистрантов, аспирантов и соискателей / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия ; под ред. Р. А. Другомилова. – Горки : РПЦ «Печатник», 2019. – С. 67–68.

2. Власов, Б. П. Природно-хозяйственная классификация озер Беларуси / Б. П. Власов // Выбранные научные работы БДУ. – Минск, 2001. – С. 315–332.

3. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Правила определения химического (гидрохимического) статуса озерных экосистем: ТПК 17.13-09-2013 (02120). – Минск : Минприроды РБ, 2014 – 14 с.

4. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический (лабораторный) контроль и мониторинг. Порядок отнесения поверхностных водных объектов (их частей) к классам экологического состояния (статуса): ТПК 17.13-21-2015 (33140). – Минск : Минприроды РБ, 2015 – 30 с.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНОГО ОБЪЕКТА ОТ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

С ростом территорий городов в пределах городской черты оказываются различные водные объекты. Наибольшая нагрузка оказывается на малые и очень малые городские водоемы. Наибольшему антропогенному воздействию подвергаются водные объекты вблизи различных предприятий, особенно сельскохозяйственных. Сельскохозяйственные предприятия активно изменяют гидрохимический состав и трофический уровень водных объектов, расположенных в зоне их влияния. Таким образом, установление зависимости их экологического состояния от удалённости от источника загрязнения наиболее актуально.

Цель работы: установить зависимость экологического состояния водного объекта от удалённости от источника загрязнения грунтовых вод.

Задачи:

1. Исследовать показатели, характеризующие качество воды, питающиеся грунтовыми водами водоёмы пруд «Вычулки» и пруд «Зеркалка».
2. Определить состояния и экологические проблемы данных водоёмов.
3. По данным экологического состояния водоёмов установить их зависимость от источника загрязнения.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись пруд «Вычулки» и пруд «Зеркалка» г. Бреста, расположенные в зоне влияния ТК «Берестье», питание которых идет за счет грунтовых вод (рисунок 1).



Рисунок 1 – Картосхема расположения объектов исследования, Брест

Источник загрязнения – грунтовые воды ТК «Берестье»: пруд «Вычулки» расположен на расстоянии 45–50 м от тепличного комбината, пруд «Зеркалка» расположен на расстоянии 900–950 м.

Гидроморфологического состояния водоемов оценивалось методами ГИС-картирования и полевыми исследованиями. Проводилось исследование водосбора водоема и его основных морфометрических характеристик: максимальная длина (L), максимальная ширина (B), площадь водного зеркала (A), максимальная глубина (H), средняя глубина (h), длина береговой линии (L_l). На основе этих данных рассчитывались показатель удлинённости береговой линии L* и степень развития береговой линии S [1].

Отбор проб воды для гидрохимического анализа проводился стандартными методами с приповерхностной части водоема с глубины 0,3 м. Пробы анализировались в течение суток с момента отбора. Анализ воды по гидрохимическим показателям проводился в соответствии с методиками государственного реестра химического анализа поверхностных вод [2].

Оценка уровня эколого-гидрохимического состояния городских водоемов проводилась согласно СанПиН 2.1.2.12-33-2005, ГН 2.1.5.10-21-2003, ТКП 17.06-17-2018 и ТКП 17.13-21-2015. [3–6]. Исследовали следующие компоненты и показатели: рН (потенциометрическим методом), жесткость общая (титриметрическим методом), ХПК (титриметрическим методом), растворенный кислород и БПК₅ (йодометрическим методом), титриметрическим методом содержание ионов – HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, Fe_{общ} (фотометрическим методом), PO₄³⁻ (фотометрическим методом), Na⁺ и K⁺ (расчетным методом), общая минерализация (гравиметрическим методом) [7, 8].

Результаты и обсуждение

Основные характеристики исследуемых водоемов и их водосборов, а также гидроморфологические параметры приведены в таблицах 1 и 2. Следовательно, исходя из полученных данных, установлено, что водоемы малые, с площадью водного зеркала менее 1 км², непроточные, с замедленным водообменом, основным видом рекреационной нагрузки является любительское рыболовство, основной вид антропогенной нагрузки – с/х предприятие и ливневые воды с прилегающей территории.

Содержание основных макроэлементов, биогенных и загрязняющих веществ в воде изучаемых водоемов г. Бреста приведено в таблице 3 (подчеркиванием выделены значения превышения нормативных показателей для водных объектов хозяйственно-бытового водоснабжения и рекреационного водопользования). Превышение нормативных показателей свидетельствует о влиянии на грунтовые воды и водоемы (питающиеся за счет грунтовых вод) источника загрязнения.

Для определения экологического состояния воды урбанизированных водоемов в зимний период определялся индекс загрязнения воды (ИЗВ) по следующим гидрохимическим показателям: обязательные – рН, БПК₅, растворенный кислород, а также три поллютанта с максимальным значением.

ИЗВ рассчитывали по формуле 1 [9]:

$$ИЗВ = \frac{\sum (C_{1-6} / ПДК_{1-6})}{6}, \quad (1)$$

где С/ПДК – относительная (нормированная) среднегодовая концентрация;
 б – строго лимитируемое количество показателей.

При расчете использовались ПДК для вод хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования.

Таблица 1 – Основные характеристики исследованных водоемов

Тип водоема	Происхождение	Площадь водного зеркала, км ²	Тип котловины	Характер водообмена	Современное использование водного объекта	Вид антропогенной нагрузки
Пруд «Вычулки»	Природно-антропогенное	0,234	Карстовый	Бессточный	Обводнение, увлажнение, место отдыха, любительское рыболовство	Сельскохозяйственное предприятие, частный сектор, поверхностный сток с асфальтированной дороги, любительское рыболовство
Пруд «Зеркалка»	Природно-антропогенное	0,046	Озерно-долинный	Бессточный	Обводнение, место отдыха, рекреация, любительское рыболовство	Частный сектор, поверхностный сток с грунтовой дороги, любительское рыболовство, место отдыха

Таблица 2 – Гидроморфологические параметры исследуемых водоемов г. Бреста

Водоем	Площадь A , км ²	max длина L , км	max ширина B , км	max глубина, H , м	Средняя глубина, h , м	Длина береговой линии L_l , км	Коэффициент удлиненности L^*	Степень развит. береговой линии S
Пруд «Вычулки»	0,234	0,706	0,602	6,0	2,6	2,120	1,17	2,24
Пруд «Зеркалка»	0,046	0,286	0,201	3,6	2,7	0,812	1,42	1,07

Таким образом, исходя из исследуемых показателей (таблица 3) видно, что на объект, расположенный ближе, — пруд Вычулки, оказывается большее воздействие.

Таблица 3 – Основные гидрохимические показатели качества воды исследуемых водоемов г. Бреста в 2020 г.

Водоем (место отбора)	Показатели															
	pH	Жест- кость мг- экв/дм ³	ХПК мг/дм ³	Раств. О ₂ мг/дм ³	БПК ₅ мг/дм ³	НСО ₃ ⁻ мг/дм ³	Са ²⁺ мг/дм ³	Мg ²⁺ мг/дм ³	Na ⁺ мг/дм ³	Cl ⁻ мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ мг/дм ³	Fe _{общ} мг/дм ³	PO ₄ ³⁻ мг/дм ³	СПАВ анионакт. мг/дм ³	Общ. мине- рали- зац. мг/дм ³	ИЗВ
Зима 2020 г.																
Пруд «Зеркалка»	7,44	4,88	11,56	9,44	<u>6,11</u>	127,53	46,76	30,90	12,24	29,29	78,72	<u>0,65</u>	0,010	<0,05	262	1,34
Пруд «Вычулки»	8,36	3,28	<u>16,86</u>	7,83	<u>4,61</u>	108,73	37,94	16,86	62,56	51,11	89,45	<u>0,98</u>	<u>0,419</u>	<u>1,29</u>	313	2,74
Весна 2020 г.																
Пруд «Зеркалка»	7,50	6,27	13,56	8,41	2,48	189,10	44,09	49,43	46,92	30,18	53,76	0,78	0,003 0	<0,1	320	1,45
Пруд «Вычулки»	8,04	3,13	10,56	8,09	4,30	189,10	42,08	12,56	42,50	49,70	92,16	0,66	0,331 7	0,78	335	2,85
Лето 2020 г.																
Пруд «Зеркалка»	8,08	2,25	14,11	7,07	3,09	156,31	30,06	9,12	132,25	31,95	176,7 5	1,48	0,000 9	<0,1	459	1,41
Пруд «Вычулки»	9,09	3,5	42,72	7,37	7,19	102,18/ 57,75 (СО ₃ ²⁻)	45,59	14,89	103,50	54,14	157,5 4	0,68	0,307	0,88	485	3,06
Осень 2020 г.																
Пруд «Зеркалка»	7,39	<u>2,65</u>	<u>50,64</u>	8,60	<u>3,17</u>	172,33	40,08	<u>7,06</u>	77,05	27,51	57,64	<u>1,65</u>	0,034	0,17	366	1,73
Пруд «Вычулки»	7,58	<u>3,58</u>	<u>36,51</u>	8,45	<u>7,15</u>	138,17	57,51	<u>8,63</u>	78,66	47,12	121,3 3	<u>1,53</u>	0,289	0,73	441	3,88
ПДК, норматив	6,5- 8,5	7**	15	Не ме- нее 4	1-3	-	180,0*	40,0*	120*	300*	500	0,3**	0,066	0,5**	1000	

Заключение

Наблюдается прямая зависимость экологического состояния исследуемых водоемов от удалённости от источника загрязнения. На пруд «Вычулки», расположенный на расстоянии 45–50 м оказывается большее воздействие, превышено 5 показателей исследованных нами. А на пруд «Зеркалка», расположенный на расстоянии 900–950 м, оказывается меньшее воздействие.

Список цитированных источников

1. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Комплексная оценка экологического риска и расчет норм допустимых рекреационных нагрузок на водоемы в зонах отдыха Беларуси: ТКП 17.06-17-2018 (33140), ВУ. – Введ. 01.06.19. – Минск : Минприроды, 2019. – III, 19 с. – Введен впервые.
2. "Требования к содержанию поверхностных водных объектов при их рекреационном использовании": СанПиН от 05.12.2016 № 122.
3. Кириченко, Л. А. Состояние экологического статуса водоемов бассейна реки Западный Буг / Л. А. Кириченко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2019. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 78–81.
4. Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменений климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев – Минск : Альтернатива, 2017. – 239 с.
5. Волчек, А. А. Ливневый сток как источник загрязнения поверхностных вод / А. А. Волчек, И. В. Бульская // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2012. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 39–41.
6. Rashid I, Romshoo SA. Impact of anthropogenic activities on water quality of Lidder River in Kashmir Himalayas. *Environ Monit Assess.* 2013;185(6):4705-4719. doi:10.1007/s10661-012-2898-0
7. Власов, Б. П. Природно-хозяйственная классификация озер Беларуси / Б. П. Власов // Выбранные научные работы БДУ. – Минск, 2001 – С. 315–332.
8. Морфометрические параметры разнотипных озер севера Якутии / Р. М. Городничев [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 1. – С. 18–25.
9. Методические указания: Метод комплексной оценки по гидрохимическим показателям: РД 52.24.643-2002 // РОСГИДРОМЕТ. – Ростов на Дону, 2002. – 55 с.

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ФОТОПРОВОДИМОСТИ КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР CdSe

В настоящее время исследование полупроводниковых структур с квантово-размерными эффектами является одним из наиболее актуальных и перспективных направлений физики, техники и технологии полупроводников, поскольку напрямую связано с разработкой физических и технологических основ создания и совершенствования приборов и устройств нанoeлектроники и оптоэлектроники. Важными являются исследования по влиянию нанокристаллических структур на изменение оптических и люминесцентных характеристик полупроводников, среди которых одно из первых мест занимает фотопроводимость.

Основной целью работы являлось исследование фотопроводимости квантово-размерных структур CdSe, сформированных методом термолиза, и ее воспроизводимости.

В работе были исследованы образцы, представляющие собой органическую пленку, содержащую нанокристаллы CdSe с размером ≈ 2 нм. Ее наносили на предметное стекло между напыленными металлизированными параллельными контактами (всего 40 штук). Контакты длиной 11,1 мм и шириной 0,08 мм каждый входили друг в друга на 10,1 мм. Расстояние между контактами составило 0,04 мм.

Нанокристаллы селенида кадмия CdSe синтезированы методом термолиза металлоорганических прекурсоров кадмия и селена в среде высококоординирующего растворителя ТОРО/ТОР (триоктилфосфиноксид /триоктилфосфин) [0]. В качестве прекурсоров выступали диметилкадмий и триоктилфосфин селенид. Данная методика позволяет синтезировать монодисперсные нанокристаллы селенида кадмия контролируемых размеров от 2 до 8 нм с высоким квантовым выходом фотолюминесценции [3].

Измерения проводились на экспериментальной установке, состоящей из источника питания постоянного тока Б5-49, предназначенного для питания радиоизмерительной аппаратуры и работы в автоматических измерительных системах, измерительного и выносного интегрирующего блоков, вольтметра универсального электрометрического В7-45, а также измерительной камеры, комплекта принадлежностей и осветителя монохроматора универсального малогабаритного МУМ с галогенной лампой.

Фотопроводимость исследуемых образцов селенида кадмия CdSe изучалась при включенном осветителе и установленном на источнике питания постоянного тока напряжении 0 В. Измерения значений тока проводили с помощью вольтметра при увеличении напряжения до 99 В с шагом 1 В. При достижении предельного значения напряжение уменьшали с тем же шагом, продолжая измерять ток.

При исследовании темновой и фотопроводимости образца получили следующие результаты (рисунок 1).

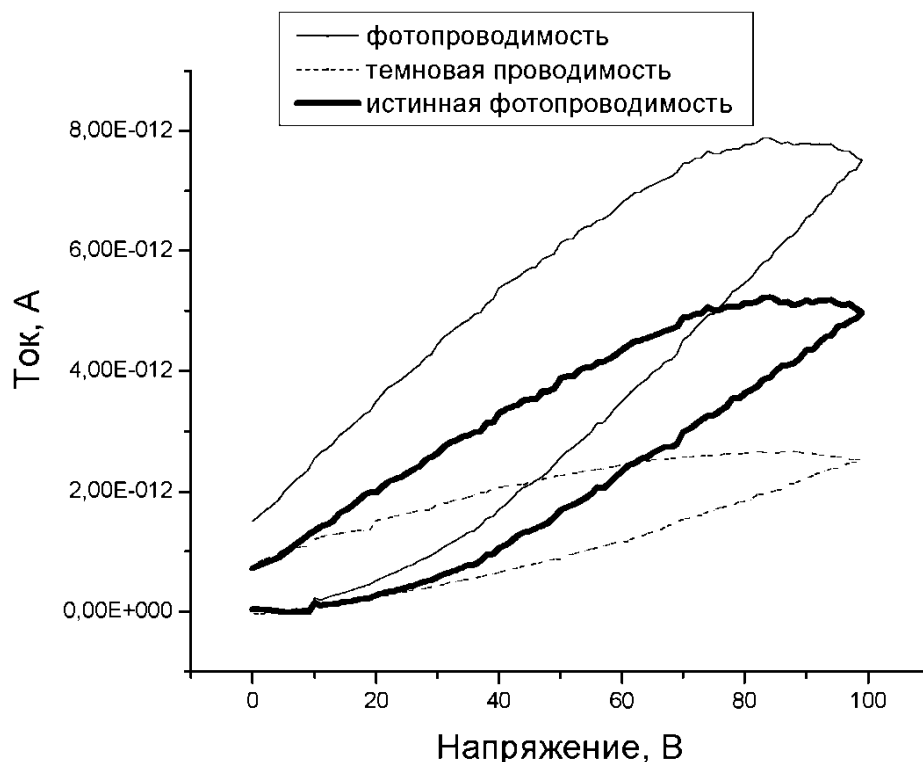


Рисунок 1 – Вольт-амперные характеристики CdSe

На рисунке 1 изображены графики темновой проводимости и фотопроводимости, а также истинная фотопроводимость, которая вычислялась как их разность.

Из графиков видно, что при освещении структур ВАХ подобны.

Полученные вольт-амперные характеристики являются нелинейными и имеют две ветви, одна из которых соответствует увеличению напряжения, а вторая – уменьшению напряжения.

Кривые нарастания и спада фототока симметричны, но одному и тому же напряжению соответствуют разные токи (кривая спада идет выше кривой нарастания). При увеличении напряжения до 100 В, сила тока возрастает для фотопроводимости до $7,4 \cdot 10^{-12}$ А, а для темновой проводимости до $2,2 \cdot 10^{-12}$ А.

Полученные результаты показывают наличие темновой и фотопроводимости в исследуемых образцах, что обусловлено их нанокристаллическим состоянием и зависимость этой проводимости (темновой и фото) от предыстории, т. е. от того, находились ли перед этим образцы под напряжением или нет.

Для подтверждения воспроизводимости темновой и фотопроводимости квантово-размерных структур CdSe дополнительно были проведены аналогичные измерения через 1 час и через сутки. В результате были получены вольт-амперные характеристики, подобные предыдущим. Истинная фотопроводимость, полученная изначально, через 1 час и через сутки показана на рисунке 2.

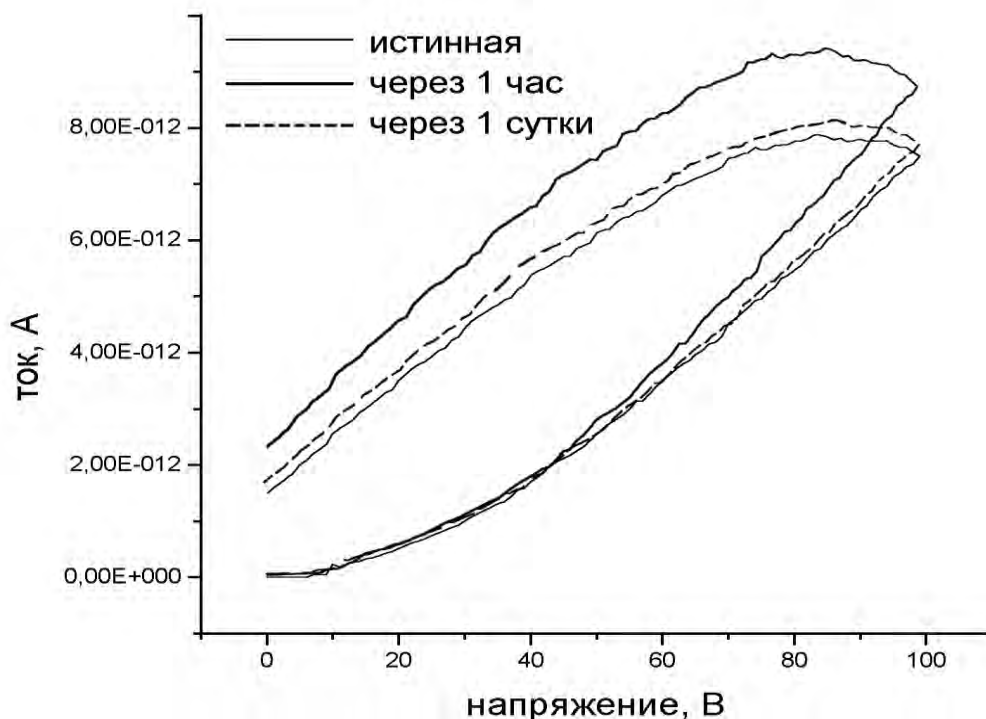


Рисунок 2 – Воспроизводимость фотопроводимости

Полученные результаты показывают, что спустя 1 час значения тока выше на $0,78 \cdot 10^{-12} \div 1,2 \cdot 10^{-12}$ А, а через сутки практически полностью повторяют начальные значения. Исходя из этого видно, что полную повторяемость измерений темновой и фотопроводимости квантово-размерных структур CdSe можно получить через сутки.

Список цитированных источников

1. Исследование особенностей электронного спектра квантовых точек полупроводника CdSe / А. И. Михайлов [и др.] // Письма в ЖТФ. – 2016. – Т. 42, Вып. 15. – С. 51–58.
2. Evolution from individual to collective electron states in a dense quantum dot ensemble / M. V. Artemyev [et al.] // Phys. Rev. – 1999. – V. 60, № 3. – P. 1504–1506.
3. Гапоненко, С. В. Оптические процессы в полупроводниковых нанокристаллах (квантовых точках) / С. В. Гапоненко // Физика и техника полупроводников. – 1996. – Т. 30, № 4. – С. 577–619.

УДК 004.8

Стасевич В. В., Филипеня А. С.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Шуть В. Н.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДСЧЁТА ПАССАЖИРОПОТОКА

Целью статьи является анализ и оценка проблем подсчета пассажиропотока. Представлена система, с помощью которой можно производить подсчёт вошедших и вышедших пассажиров. Были проведены испытания, выявлены

достоинства и недостатки системы. Также особое внимание уделяется характеристикам и сравнению похожих систем.

Пассажирский автомобильный транспорт превратился в один из основных и наиболее распространённых видов пассажирского транспорта страны. Он широко обслуживает транспортные потребности городского и сельского населения, обеспечивая массовые и индивидуальные перевозки пассажиров возросшим парком автобусов и легковых автомобилей. Автобусный транспорт общего пользования превышает уровень пассажирооборота, освоенный железнодорожным транспортом, и в связи с этим автомобильный транспорт обеспечивает не только основной объект перевозок пассажиров в городских и внегородских сообщениях, но и ведущую часть пассажирооборота всех видов пассажирского транспорта страны.

Все больше внимания уделяется дальнейшему взаимодействию различных видов транспорта, улучшению системы и совершенствованию методов организации перевозок, повышению безопасности движения. Особое значение придается повышению культуры обслуживания пассажиров на всех видах транспорта.

Развитие пассажирского транспорта, более полное удовлетворение потребностей в перевозках оказывают значительное влияние на использование свободного времени трудящихся и производительность их труда. Поэтому проблема пассажирского автомобильного транспорта в целом является важной проблемой комплексной программы социального развития.

Успешное решение проблемы пассажирского автомобильного транспорта зависит от степени совершенства и обоснованности системы перевозочного процесса, обеспечивающей главное звено и конечную цель эксплуатационной деятельности пассажирского транспорта.

Одной из важнейших задач для автоматизации общественного транспорта является подсчёт пассажиропотока с целью последующей оптимизации маршрутов. Из результатов этого подсчёта можно извлечь информацию о том, насколько эффективен данный маршрут, что в нём нужно изменить, избежать дублирования некоторых участков маршрутов. Сбор статистики по пассажиропотоку позволит проектировать новые маршруты, менять действующие и более рационально планировать работу подвижного состава в зависимости от загруженности тех или иных остановок и линий. Этот факт одинаково полезен как пассажирам, так и транспортным предприятиям. Некачественно сформированная маршрутная сеть влечёт за собой ухудшение эффективности транспортно-пассажирского сообщения, повышение затрат на осуществление перевозок, уменьшению прибыли [1, с. 64].

Автобусный и троллейбусный парки несут значительные убытки из-за пассажиров, не оплачивающих проезд. Проблемой являются, например, передача одного талона между пассажирами, попытка проехать на одном талоне несколько раз, подделка талонов и многие другие способы обмана контроллеров. За счет сравнения пассажиропотока и пробитых проездных документов можно будет сделать выводы о неоплаченных поездках и повысить эффективность контрольно-ревизорской службы.

Для решения поставленной задачи предлагается использование технологии компьютерного зрения и анализа данных для текущего подсчета числа пасса-

жиров в транспортном средстве и определения маршрутов следования пассажиров по полученным результатам. В частности, в салоне транспортного средства устанавливаются камеры видеонаблюдения, которые полностью обзорают входы и выходы транспортного средства. Это обусловлено низкой стоимостью видеокamеры относительно других устройств подсчета пассажиров, отсутствием ограничения передвижения пассажиров, а также возможностью обучать и тестировать систему на простом видеоряде: нет необходимости в стереоизображении и другой специализированной записи, достаточно записи с обычной камеры.

Модуль глобального позиционирования, реализованный на основе технологий GPS и/или ГЛОНАСС, позволяет определять координаты транспортного средства. Временная метка и координаты транспортного средства являются неотъемлемой частью видеоданных. По прибытию в автопарк происходит автоматическая передача полученных записей на удаленный сервер для последующей обработки [2, с. 60–61].

Полученные кадры проходят ряд преобразований. Например, имеется возможность изменить размер поступающих кадров для скорейшей обработки. Затем для детектирования объектов кадр подается на нейронную сеть. Если нейронная сеть с достаточной степенью достоверности посчитала, что данный объект – человек, то при пересечении его через прямую, отделяющую салон автобуса от улицы, будет увеличиваться значение счётчика количества входящих или выходящих пассажиров в зависимости от направления движения пассажира [3, с. 223–224].

Указанные свойства позволяют получить следующий эффект – учет пассажиропотока во времени и пространстве.

К техническим преимуществам полезной модели по сравнению с известными аналогами относятся следующие:

1. Автоматический учет и анализ пассажиропотока.
2. Прогнозирование пассажиропотока по часам суток и дням недели.
3. Отсутствие накопительной ошибки. Возникающие ошибки носят эпизодический характер, которые не влияют на подсчет пассажиров при последующих итерациях подсчета.
4. Возможность ручной проверки в режиме прямой трансляции или просмотр записанного видео с камеры с целью проверки норм безопасности и контроля за воздействиями на работу системы.

Новизна предлагаемого подхода состоит в совокупном использовании модуля глобального позиционирования, видеокamер для обзора салона транспортного средства, роутера и автоматической обработки полученных с видеокamер изображений с помощью средств технического зрения для подсчета пассажиров на удаленном сервере [4, с. 170–172].

Средняя точность разработанной системы по видеорядам составила 85 %, по числу обнаруженных пассажиров – 83 %, что превышает точность ручного подсчета пассажиропотока (80 %). Датасет составлял 130 изображений, что является крайне малым объемом. При наличии более качественной видеозаписи с большим углом обзора камеры, увеличения размера датасета, а также времени обучения нейронной сети точность будет значительно увеличена.

Таким образом, опираясь на данные, которые предоставляет разработанная система, можно в реальном времени оптимизировать работу городской транспортной системы, что приведет к значительной экономии топлива, уменьшению вредных выхлопов, уменьшению износа транспорта, к общему улучшению качества обслуживания населения и удобству использования общественного транспорта.

Система также может быть потенциально модифицирована для того, чтобы засекать число безбилетных пассажиров на каждом из рейсов, а также передавать информацию контроллерам, является ли пассажир безбилетником. К сожалению, из-за специфики расположения камер – они расположены сверху – засекать безбилетных пассажиров для последующего сравнения с базой данных лиц и автоматической выдачи штрафа без необходимости наличия контроллера не представляется возможным.

Список цитированных источников

1. Средства подсчета пассажиропотока в автобусах при городских перевозках пассажиров / В. Н. Шуть [и др.] // Вестник БрГТУ. – 2019. – № 5 (118): Физика, математика, информатика. – С. 63–66.

2. Пролиско, Е. Е. Математическая модель работы «ИНФОБУСОВ» / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Матеріали VII-ої Українсько-польської науково-практичної конференції «Електроніка та інформаційні технології (ЕлІТ-2015)», 27–30 серпня 2015 р., Львів-Чинадієво, 2015. – С. 59–62.

3. Шуть, В. Н. Алгоритм организации городских пассажирских перевозок посредством рельсового беспилотного транспорта "Инфобус" / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // ACTUAL PROBLEMS OF FUNDAMENTAL SCIENCE: third international conference. – Луцк : Вежа-Друк, 2019– С. 222–226.

УДК 004.89

Хацкевич А. С.

Научный руководитель: ст. преподаватель Хацкевич М. В.

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ АЛГОРИТМЫ НА БАЗЕ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

Целью настоящей работы является анализ методов реализации алгоритмов нейронных сетей на базе квантовых компьютеров.

Объект исследования – алгоритмы квантового машинного обучения.

Предмет исследования – средства и особенности реализации квантовых нейронных сетей.

Квантовые вычислители способны решать задачи, которые не под силу классическим машинам и на данном этапе являются перспективным методом резкого повышения производительности вычислений. Хотя обширное внедрение квантовых вычислителей в массы при текущем уровне развития технологий невозможно, тем не менее, квантовые вычисления уже долгое время считаются одним из наиболее перспективных направлений.

Можно отыскать сферы деятельности, в которых дела обстоят довольно оптимистично. Среди таких областей можно выделить криптографию, квантовую

химию, некоторые материальные науки и с недавнего времени к этому списку можно отнести машинное обучение.

Процесс создания квантовых алгоритмов, в том числе в области обработки изображений, весьма трудоемкий [1], и их общее количество несопоставимо мало, по сравнению с количеством классических.

В настоящее время наблюдается стремительный рост интереса к квантовым алгоритмам. Это объясняется тем, что применение квантовых алгоритмов после появления квантовых компьютеров позволяет экспоненциально увеличить скорость решения вычислительных задач. Такое важное преимущество квантовых алгоритмов при решении ряда сложных вычислительных задач и недостаточная изученность их возможностей позволяет сделать вывод о важности исследований в этой области.

Под областью искусственного интеллекта обычно понимают автоматизацию интеллектуальных задач, выполняемых людьми. Искусственный интеллект (ИИ) – это обширная область, охватывающая машинное обучение и глубокое обучение, а также включающая в себя многие подходы, не связанные с обучением.

Машинное обучение (ML, Machine Learning) – это подмножество искусственного интеллекта, которое использует алгоритмы, чтобы научить компьютеры принимать решения, как это делают люди. Изначально основным направлением машинного обучения стало стремление имитировать человеческий мозг с помощью так называемых искусственных нейронных сетей. Эти нейронные сети моделируют работу нашего мозга, получая информацию, обрабатывая ее через последовательность искусственных нейронов и создавая выходные данные. Нейронные сети используют большое количество самых современных технологий искусственного интеллекта.

На текущий момент существует большое количество различных сред моделирования (как консольных, так и графических), библиотек API, а также моделей отдельных алгоритмов. В настоящее время их общее количество [2] перевалило за сотню.

Графические среды моделирования предоставляют большие возможности для построения и управления процессом моделирования. Среди всех графических сред некоторые ориентированы на построение и моделирование алгоритмов с помощью квантовых схем, но они предоставляют совершенно разные возможности. Другие позволяют проводить моделирование воздействия операторов на кубит, одновременно визуализируя их действие на трехмерной модели кубита – сфере Блоха.

Отдельного упоминания заслуживают библиотеки API для построения программ моделирования квантовых вычислений, которые предоставляют готовый функционал для построения собственной модели. В качестве инструментов для увеличения производительности разрабатываемых средств моделирования могут использоваться уже готовые решения, такие как реализация симуляторов квантового вычислителя при помощи многопроцессорных вычислительных систем или ускорение моделирования при помощи видеокарт.

Основным препятствием для нейронных сетей является время, необходимое для обучения их принятию решений. Нередко проводят недели, даже месяцы, обучая нейронную сеть из-за недостатка вычислительной мощности.

Квантовое машинное обучение (Quantum Machine Learning) – пересечение машинного обучения и квантовых вычислений. Оно стремится использовать возможности квантовых компьютеров для обработки информации со скоростью, значительно превышающей скорость традиционных компьютеров. Однако это не так просто, как перенести существующий код из процессора в квантовый процессор. Код должен уметь сначала говорить на квантовом языке кубитов. Большая часть сегодняшней работы по квантовому машинному обучению и пытается решить именно эту проблему.

Если раньше это представление квантовой информации кубитом было единственным и все алгоритмы разрабатывались с учетом операций над кубитами или квантовыми регистрами (аналог цифрового сигнала), то в последнее время начал развиваться подход, использующий непрерывное представление при моделировании (аналог аналогового сигнала) квантовых гейтов.

Получается, что на данный момент существуют 2 варианта: discrete-variable (DV) гейты, используемые в кубитовой модели, и continuous-variable (CV) гейты, используемые в qumode модели квантовых вычислений.

Кубит (qubit) и кумод (qumode) – различные формы квантовых вычислений. Но большинство существующих квантовых компьютеров и чипов могут иметь дискретные переменные. Это связано также с тем, что для квантово-оптического частотного эксперимента, связанного с квантовыми вычислениями, шум среды непрерывной переменной намного выше, чем дискретной, что отражается на результате вычислений и измерений. Пока техника не достигла возможности при проведении квантовых вычислений исключить влияние внешней среды и физических эффектов в ней на результаты работы квантовых вычислителей, данный подход, видимо, будет превалирующим.

В традиционных квантовых компьютерах информация хранится в кубитах, которые могут принимать значения 0 или 1 и их суперпозиций. Их фотонный подход использует «структуры», где информация кодируется в непрерывной переменной. И таким образом, объем информации в каждой qumode может быть значительно больше, чем в кубите.

Поскольку существуют разные интерпретации квантовой механики, существуют разные способы представления квантового нейрона. Одна из таких интерпретаций – многомировая интерпретация или интерпретация Эверетта. Эта теория утверждает, что существует множество параллельных вселенных, каждая из которых разыгрывает каждую возможную историю и будущее одновременно. Она дает представление о том, как следует вести себя КНС. Подобно тому, как традиционная нейронная сеть как бы «имитирует человеческий мозг», КНС может имитировать квантовую физику.

Традиционные нейронные сети используют одну сеть для хранения множества шаблонов. Квантовая суперпозиция КНС использует много сетей для хранения множества шаблонов за счет суперпозиции, позволяя кубиту находиться в нескольких состояниях одновременно. Таким образом, каждый шаблон в сети представляет свою собственную параллельную вселенную.

Схема реализации искусственного нейрона на квантовом процессоре показана на рисунке.

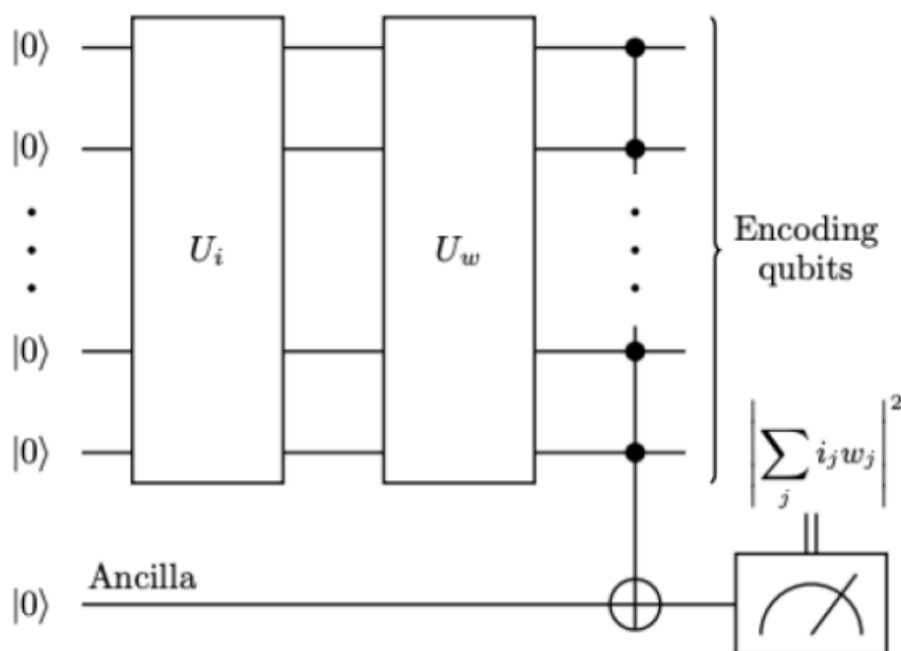


Рисунок – Обобщенная схема квантовой реализации искусственного нейрона на квантовом процессоре

Эта модель способна точно имитировать поведение одного нейрона. Тем не менее, он еще не масштабируется до глубокой нейронной сети, которая состоит из множества слоев таких нейронов. Представленная однослойная модель способна идентифицировать только простые шаблоны.

Преимущества квантовых нейронных сетей [3]:

- экспоненциальная емкость памяти;
- более высокая производительность для меньшего количества скрытых нейронов;
- ускоренное обучение;
- скорость обработки (1010 бит/с);
- малый масштаб (1011 нейронов/мм³);
- более высокая стабильность и надежность.

Эти преимущества решают большинство, если не все, ограничения традиционных нейронных сетей, используемых в задачах распознавания и обнаружения образов.

На данный момент КНС находятся в стадии зарождения. Исследования, проводимые различными научными лабораториями, уже заложили основу для будущих работ в квантовом пространстве алгоритмов машинного обучения, что привело к появлению новых алгоритмов и квантовых нейронных сетей (quantum neural network, QNN).

Список цитированных источников

1. Potapov, V. The Computational Structure of the Quantum Computer Simulator and Its Performance Evaluation / S. Gushansky, V. Guzik, M. Polenov // Software Engineering and Algorithms in Intelligent Systems: proceedings of 7th computer science on-line conference, 2018. Springer International Publishing Switzerland. – 2018. – Vol. 1. С. 198–207.
2. List of QC simulators [Electronic resource]. – Mode of access: <https://quantiki.org/wiki/list-qc-simulators>. – Date of access: 24.05.2022.
3. Ежов, А. А. Квантовые нейронные сети [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.triniti.ru/CTF&VM/Articles/Ezhov1.pdf>. – Date of access: 24.05.2022.

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ СТАБИЛОМЕТРИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Стабилометрическая платформа – аппаратный модуль для динамической регистрации координат центра давления человека в целях последующей оценки его вертикальной устойчивости. Целью данной работы является разработка мобильного приложения для организации взаимодействия со стабилометрической платформой, тестирования функций равновесия человека (зрительного анализатора, вестибулярного аппарата и других систем, прямо или косвенно связанных с поддержанием равновесия) и визуализации полученных результатов.

Стабилометрия является способом количественного исследования характеристик управления позой человека, на основе измерения координат центра давления в плоскости опоры, осуществляемый с помощью стабилоплатформы [1].

Сферы применения результатов стабилометрических исследований:

- диагностика атаксии (расстройство координации движений) при неврологической, эндокринной, кардиологической патологиях, заболеваниях ЛОР-органов, психогенных нарушениях;

- проведение стабилометрических тренировок перед авиаперелётом или морским круизом с целью предотвращения «морской болезни»;

- в реабилитологии для объективной оценки результатов лечения и качественного управления реабилитационным процессом при восстановлении функции равновесия, опоры, движения и координации.

На рисунке 1 представлен макет разработанной стабилоплатформы на основе датчика BWT901CL для определения центра давления [2].



Рисунок 1 – Макет стабилометрической платформы

Датчик BWT901CL имеет напряжение питания от 3.3 до 5 В, скорость передачи данных 115200 бод, частоту измерения до 200 Гц, небольшие размеры 51.3×36×15 мм³. Датчик BWT901CL может измерять ускорение в диапазоне ± 16 g с точностью 0.01 g, угловую скорость – ± 2000 °/с с точностью 0.05 °/с,

углы наклона по трем осям – $\pm 180^\circ$ с точностью 0.01° . Датчик BWT901CL имеет интерфейсы подключения UART и Bluetooth [3].

Динамическая регистрация биометрической информации позволяет получить траекторию перемещения проекции общего центра масс на плоскость стабиллоплатформы в ходе проведения функционального теста (например, проба Ромберга с открытыми и закрытыми глазами). К существенным преимуществам стабиллометрического комплекса с мобильным доступом можно отнести: малые физические размеры комплекса, его мобильность, возможность быстрой установки мобильного приложения, низкая стоимость. Разработанное на языке Java в среде Arduino Studio мобильное приложение имеет удобный пользовательский интерфейс с простой и наглядной визуализацией результатов тестирования, возможностью сохранения результатов тестирования в удаленной базе данных (реализация клиент-серверной архитектуры). Экранные формы разработанного мобильного приложения на примере тестирования по методу Ромберга представлены на рисунке 2.

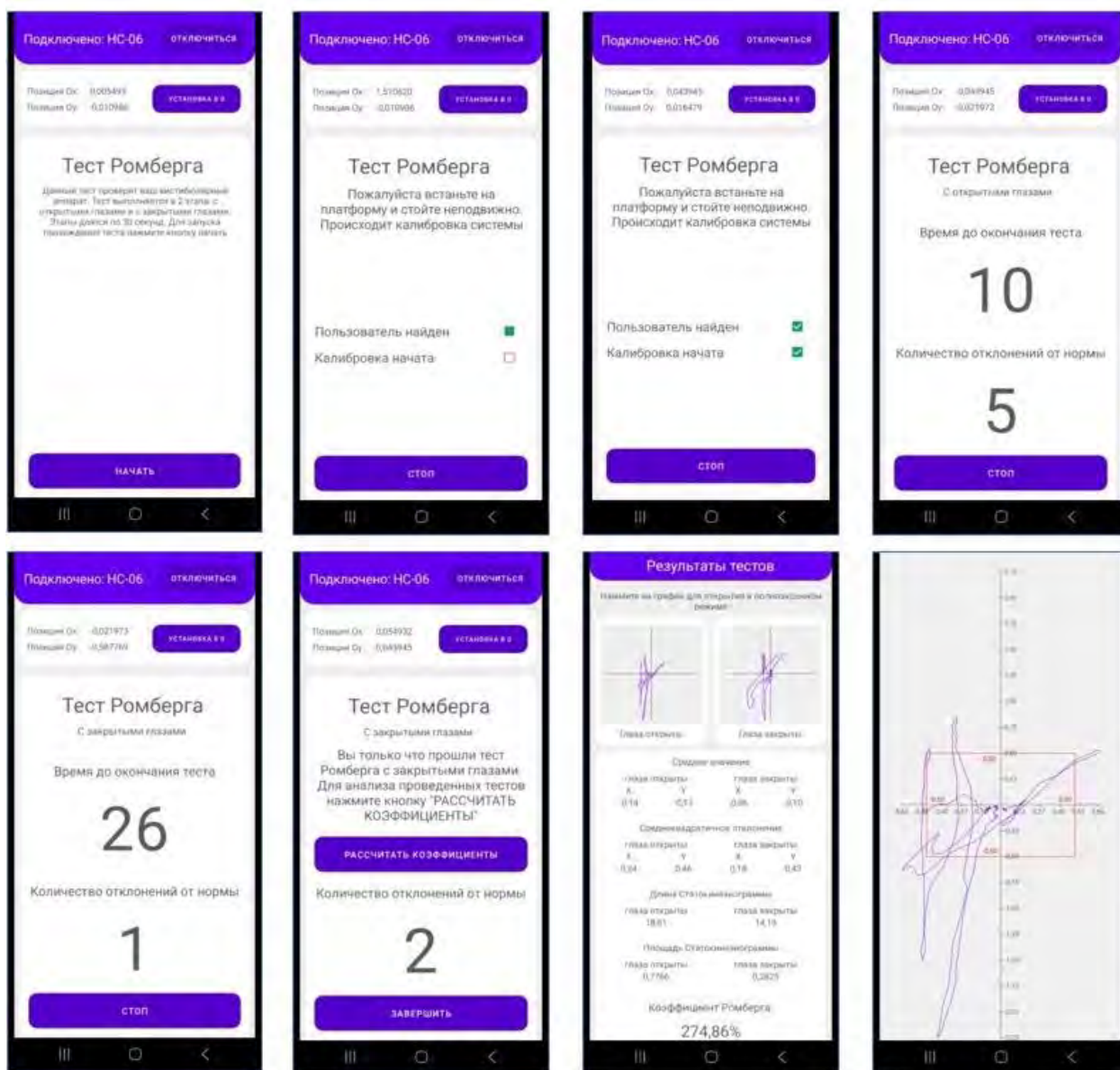


Рисунок 2 – Экранные формы мобильного приложения

Каждый тест Ромберга состоит из двух частей – с открытыми и закрытыми глазами, по 30 секунд каждая. Для оценки вертикальной устойчивости человека используют следующие расчётные показатели:

- абсолютное положение центра давления;
- девиация центра давления в саггитальной и фронтальной плоскостях;
- средняя скорость движения центра давления;
- длина статокинезиограммы – находится путем накопления суммы расстояний между точками статокинезиограммы и характеризует величину пути, пройденную центром давления за время исследования;
- площадь статокинезиограммы – показатель, характеризующий поверхность, занимаемую статокинезиограммой;
- коэффициент LFS – длина пути за единицу площади – отношение длины статокинезиограммы к ее площади;
- коэффициент Ромберга – отношение площади статокинезиограммы в тесте с открытыми глазами к площади статокинезиограммы в тесте с закрытыми глазами, умноженное на 100.

Для подтверждения адекватности работы стабилметрического комплекса с мобильным доступом проведены четыре серии вычислительных экспериментов с одним испытуемым, но находящимся в четырех различных психофизиологических состояниях в течении дня, по 10 тестов в каждом:

- состояние 1 – сразу же после пробуждения;
- состояние 2 – бодрое;
- состояние 3 – после физической нагрузки;
- состояние 4 – состояние усталости в конце дня.

Результаты 10 тестов усреднялись в каждой серии. В таблице 1 приведены используемые обозначения расчетных показателей.

Таблица 1 – Обозначение параметров

Параметр	Обозначение
Среднее положение центра давления по оси X	$\sim X$
Среднее положение центра давления по оси Y	$\sim Y$
Среднеквадратическое отклонение по оси X	σX
Среднеквадратическое отклонение по оси Y	σY
Длина статокинезиограммы	L
Площадь статокинезиограммы	S
Отношение длины статокинезиограммы к ее площади	LFS
Коэффициент Ромберга	QR

Для вычисления площади статокинезиограммы использовался алгоритм вычисления площади простого многоугольника, вершины которого представлены в виде списка координат, при последовательном обходе которых не образуются пересекающиеся линии. Такой алгоритм основан на формуле Гаусса, иначе называемой "формулой землемера", "алгоритмом шнурования", "методом треугольников". Предварительно отсортированный пузырьковым методом массив полученных от стабиллоплатформы точек был преобразован в подходящий для данного алгоритма список координат, в порядке обхода вершин многоугольника по часовой стрелке.

В таблице 2 представлены результаты проведения вычислительных экспериментов (ГО – глаза открыты, ГЗ – глаза закрыты).

Таблица 2 – Результаты вычислительного эксперимента

Параметр	Состояние 1		Состояние 2		Состояние 3		Состояние 4	
	ГО	ГЗ	ГО	ГЗ	ГО	ГЗ	ГО	ГЗ
~X	-0,21	-0,03	0,08	-0,20	0,04	-0,06	-0,04	-0,17
~Y	0,20	0,08	-0,16	0,04	-0,02	0,29	-0,04	0,21
σX	0,05	0,28	0,05	0,14	0,03	0,20	0,08	0,32
σY	0,09	0,37	0,09	0,29	0,05	0,25	0,12	0,12
L	6,10	12,46	6,74	10,00	6,79	9,88	6,69	9,97
S	0,07	0,66	0,06	0,39	0,04	0,53	0,10	0,55
LFS	87,14	18,88	112,33	25,64	169,75	18,64	66,90	18,13
QR	10,61		15,38		7,54		18,18	

Как видно из таблицы, минимальные значения среднеквадратического отклонения по осям X и Y, а также площади статокинезиограммы закономерно наблюдаются в состоянии 3 (после физической нагрузки) в тесте с открытыми глазами. Показатель LFS этом состоянии максимален, а коэффициент Ромберга – минимален. Длина статокинезиограммы в состояниях 2, 3 и 4 – величина относительно постоянная.

Заключение

Разработанное мобильное приложение для организации взаимодействия со стабилметрической платформой может применяться для оценки устойчивости вертикальной позы человека. Стабилметрический комплекс с мобильным доступом характеризуется малыми физическими размерами, мобильностью, оперативностью установки мобильного приложения, удобным пользовательским интерфейсом, низкой стоимостью.

Список цитированных источников

1. Стабилметрия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Стабилметрия_\(исследование_позы\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Стабилметрия_(исследование_позы)). – Дата доступа: 02.04.2022.
2. Старосотников, В. Д. Стабилоплатформа с микроконтроллерным управлением / В. Д. Старосотников, В. А. Царик // Электронные системы и технологии: сборник материалов 58-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 18–22 апреля 2022 г. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 321–323.
3. Gyroscope Bluetooth Version BWT901CL. SPECIFICATION [Electronic resource]. – Mode of access: http://wiki.wit-motion.com/english/lib/exe/fetch.php?media=bluetooth_inclinometer:bwt901cl:docs:bwt901cl_user_manualv1.0pdf.pdf. – Date of access: 02.04.2022.

УДК 004.383:611.85

Лютыч А. В.

Научный руководитель: к. т. н. Разумейчик В. С.

СТАБИЛОТРЕНАЖЕР С БИОУПРАВЛЕНИЕМ ПО ОПОРНОЙ РЕАКЦИИ

Стабилметрия является способом количественного исследования характеристик управления позой человека. Она основана на измерении координат центра давления в плоскости опоры, осуществляемым с помощью стабиллоплатформы [1].

Большинство существующих стабилметрических комплексов представляют собой стационарные системы, включающие:

- стабиллоплатформу, снабженную датчиками измерения вертикально прилагаемой к ней силы для определения центра давления, создаваемого расположенным на платформе объектом;
- компьютер с программой для обработки данных от стабиллоплатформы;
- монитор для обеспечения биологической обратной связи.

Классическая структура одного из таких стабилметрических комплексов представлена на рисунке 1.

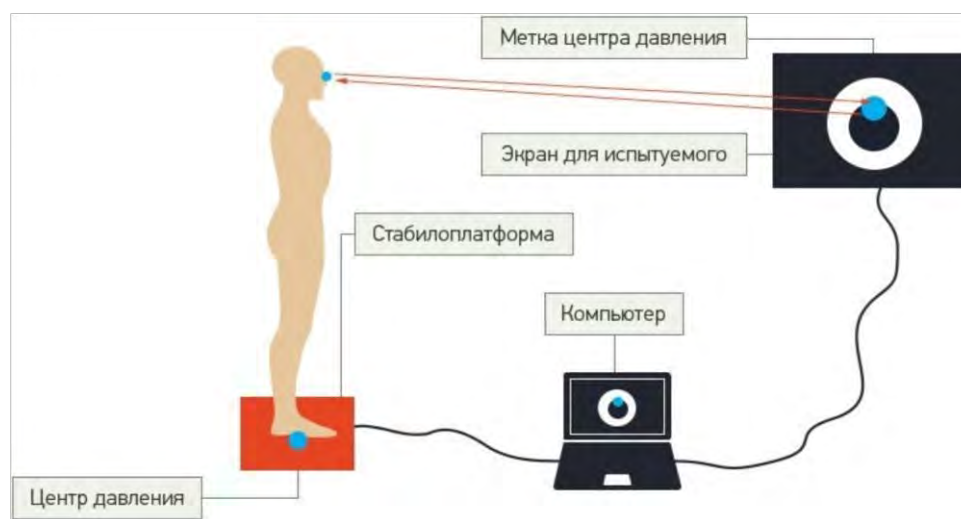


Рисунок 1 – Структура стабилметрического комплекса

Устройством управления в таких системах служит персональный компьютер, что подразумевает наличие оператора и не позволяет пользователю (испытуемому) самому проводить исследования (тренировки). Но поскольку большинство стабилметрических комплексов является медицинским оборудованием и тестирование проходит под наблюдением медицинских работников, данный недостаток не является значимым. Однако для домашнего использования встаёт вопрос мобильности и стоимости устройства.

Стабилметрическая платформа с микроконтроллерным управлением [2] способна работать без ПЭВМ, а значит может использоваться не только в составе сложного стабилметрического комплекса, но и как отдельное, самостоятельное устройство. К недостаткам такого применения можно отнести ограниченность функциональных возможностей, в частности отсутствие средств графической визуализации результатов исследований.

Использование мобильного приложения для организации взаимодействия со стабилметрической платформой дает ряд преимуществ по сравнению с использованием для этих целей ПЭВМ. Стабилметрический комплекс с мобильным доступом характеризуется малыми физическими размерами, мобильностью, оперативностью установки мобильного приложения, удобным пользовательским интерфейсом и более низкой стоимостью.

Все это делает возможным применение стабиллоплатформы для контроля состояния координационных функций человека в домашних условиях, а также на предприятиях немедицинского профиля, например при допуске работника к выполнению определенного вида работ.

Целью данной работы является разработка концепции стабилотренажера с биоуправлением по опорной реакции, также ориентированного на домашнее использование, на базе разработанной стабилметрической платформы.

Стабилотренажер – это электронное устройство, которое позволяет в игровой форме развивать координацию движений, чувствительность тела и способность к концентрации. Занятия на стабилотренажере помогают улучшить чувствительность ступней и мышц ног, координацию движений, быстроту реакции и физическую ловкость.

Для реализации стабилотренажера с биоуправлением по опорной реакции целесообразной видится следующая структура комплекса:

- стабилметрическая платформа;
- блок управления – портативное устройство (ноутбук либо смартфон), которое принимает данные со стабилметрической платформы и осуществляет управление системой;
- устройство отображения данных (внешний монитор) – отображает инструкции и результаты тренировок;
- сервер – синхронизирует работу управляющего устройства и устройства отображения данных, осуществляет хранение результатов тренировок.

Главным элементом разработанной ранее стабиллоплатформы [2] является датчик BWT901CL, который может измерять ускорение в диапазоне ± 16 g с точностью 0.01 g, угловую скорость – ± 2000 °/с с точностью 0.05 °/с, углы наклона по трем осям – $\pm 180^\circ$ с точностью 0.01° [3]. Такой датчик имеет интерфейс беспроводного подключения Bluetooth, что позволяет считывать с него данные измерений непосредственно, подключившись по данному протоколу, например с мобильного телефона.

Таким образом, стабилметрическая платформа лишь передаёт данные на блок управления, а значит для изменения алгоритмов обработки данных, добавления новых функций или тестов достаточно простого обновления приложения (программы для ПЭВМ либо смартфона). Результаты проведенных тренировок будут сохраняться на облачном сервере – это позволит пользователям получать доступ к исследованиям с любого устройства, а также предоставит возможность вести базу данных пользователей.

Поскольку для некоторых тестов, особенно для игровых режимов, размера экрана ноутбука или мобильного телефона может оказаться недостаточно, в системе присутствует внешний монитор. Подключение монитора напрямую к устройству невозможно, так как обработка данных происходит в модуле управления – мобильном телефоне или ноутбуке. Подключение внешнего монитора к блоку управления является непрактичным – для разных моделей мониторов передача данных осуществляется по различным протоколам, что требует разработки большого количества драйверов. Поскольку в системе для хранения данных будет присутствовать сервер, можно использовать его и для генерации веб-страницы, которая будет поддерживаться любым браузером. Таким образом, в качестве модуля отображения данных может быть использовано любое устройство, имеющее доступ к Интернет.

Типичные упражнения на стабилотренажерах:

- удерживать в центре – это упражнение на максимальную стабильность – необходимо удерживать курсор как можно ближе к центру окружности;

- обойти окружности – изменением центра тяжести тела необходимо по очереди поместить курсор в центр каждой из отображаемых на мониторе окружностей – аналог теста «Мишень»;

- слалом – необходимо максимально точно следовать синусоидальной направляющей (ширина допустимого отклонения и параметры синусоиды задаются до начала тренировки).

Рассмотрим принцип реализации в разрабатываемом стабилотренажере классического теста «Мишень». Для взаимодействия мобильного приложения и внешнего монитора будет использован веб-сокет. На первом этапе смартфон и внешний монитор с помощью сервера должны создать общий канал связи и подключиться к нему. После создания канала связи мобильное приложение генерирует матрицу перемещения точки по экрану и передает ее внешнему монитору. На обоих устройствах начинается обратный отсчёт времени до начала теста, после чего на внешнем мониторе отображается красная точка, которая с заданной скоростью перемещается по экрану в соответствии с полученными координатами. Смартфон в это время считывает и сохраняет данные, получаемые от стабилметрической платформы. После окончания теста определяется отклонение траектории движения центра давления человека от траектории движения точки на экране, результат теста сохраняется в базу данных.

Для взаимодействия мобильного приложения и сервера будет использоваться принцип «запрос-ответ». Сервер будет принимать один из шести типов запросов: авторизация, регистрация, сохранение результата, получения списка результатов, создание общего канала связи (веб-сокета), отправка сообщения через веб-сокет.

Остальные тесты реализуются подобным же образом, отличия лишь в алгоритме управляющей программы.

Для наглядности как самого процесса прохождения теста, так и его результатов, а также повышения мотивации к тренировкам планируется разработать приложение в виде 3D-игры. Например, спуск с горы на лыжах – чтобы не упасть, необходимо поддерживать равновесие в той или иной ситуации. Такая игра – аналог теста «Слалом».

Для создания 3D-приложений на сегодняшний день существует множество инструментов и готовых библиотек. Так, игровой движок jMonkeyEngine (jME) – проект с открытым исходным кодом – предназначен для создания современных трёхмерных приложений, активно использующих шейдеры [4]. Написан на языке программирования Java и использует по умолчанию LWJGL для рендеринга. По сути это набор библиотек, служащий для низкоуровневой разработки игровых приложений. Но при использовании совместно с интегрированной средой разработки, например, с официальным jMonkeyEngine 3 SDK, он превращается в высокоуровневый инструментарий разработки графических приложений. SDK основан на платформе NetBeans, позволяющей использовать графические редакторы и плагины. Поддерживает разработку приложений под Android.

Заключение

Представлена концепция стабилотренажера с биоуправлением по опорной реакции, ориентированного на домашнее использование, на базе разработанной ранее стабилметрической платформы. Предложен вариант геймификации про-

цесса тестирования. Результаты проведенных тренировок удобно сохранять на облачном сервере – это позволит пользователям получать доступ к исследованиям с любого устройства, а также предоставит возможность вести базу данных пользователей. Сервис авторизации и регистрации пользователей позволит каждому пользователю иметь свой набор сохранённых результатов, а также разграничить доступ к базе данных.

Список цитированных источников

1. Стабилометрия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Стабилометрия_\(исследование_позы\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Стабилометрия_(исследование_позы)). – Дата доступа: 02.04.2022.
2. Старосотников, В. Д. Стабилоплатформа с микроконтроллерным управлением / В. Д. Старосотников, В. А. Царик // Электронные системы и технологии: сборник материалов 58-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 18–22 апреля 2022 г. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 321–323.
3. Gyroscope Bluetooth Version BWT901CL. SPECIFICATION [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://wiki.wit-motion.com/english/lib/exe/fetch.php?media=bluetooth_inclinometer:bwt901cl:docs:bwt901cl_user_manualv1.0pdf.pdf. – Дата доступа: 02.04.2022.
4. jMonkeyEngine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/JMonkeyEngine> – Дата доступа: 02.04.2022.

УДК 629.359

Ефимович В. Ф.

Научные руководители: к. т. н., доцент Костюк Д. А.;

доцент кафедры Буслюк В. В.

ПРОБЛЕМАТИКА СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ РЕСПИРАЦИИ

Заболевания дыхательных путей и легочной ткани в большинстве случаев вызывают изменения функциональных параметров дыхания. Таким образом, исследуя функциональное состояние респираторной системы, можно получить представление о характере патологического процесса в бронхах и легких.

Спирометрия – один из первых методов оценки легочной функции, точнее – измерения легочных объемов при различных дыхательных маневрах, как спокойных, так и форсированных. Спирометрия показана для выявления обструктивных и рестриктивных нарушений, установления причины различных респираторных симптомов, нарушений газообмена, изменений других показателей, определения риска оперативного вмешательства, оценки физического состояния пациента, оценки эффективности лечения бронхолёгочной патологии [1].

В 1846 году была опубликована первая статья доктора Джона Хадчинсона о спирометрии и, в частности, его приборе – спирометре. Для измерения этим устройством испытуемый вдыхал или выдыхал воздух из прибора с ограниченным газовым пространством. После этого строили график зависимости объема лёгких от времени, то есть спирограмму «объём-время».

Позднее появился альтернативный способ, при использовании которого способа необходимо измерять поток воздуха и время. Объём в этом случае рассчитывается умножением потока на время, а затем строится спирограмма

«поток-объём». В настоящее время на смену прибору Д. Хадчинсона пришли приборы, измеряющие именно поток воздуха [2].

Проведём сравнительный анализ современных спирометров от различных производителей.

Спирометр Spirodoc MIRSP01 от итальянской компании MIR (рисунок 1а) – это портативный профессиональный спирометр, имеющий множество измеряемых параметров, сенсорный монитор, эргономичный дизайн, а также некоторые дополнительные функции, такие как измерение пульса, уровня кислорода в крови (с помощью дополнительного модуля, который может идти в комплекте с прибором), измерение параметров и анализ сна, а также тест шестиминутной ходьбы. Также в комплекте идёт программное обеспечение для персонального компьютера, коммуницировать с которым устройство может с помощью USB-порта. Есть возможность подключения к периферийным устройствам через Bluetooth.

Компьютерный спирометр MiniSpir Light MIRmS-RU-1 от компании MIR является «облегченной» версией предыдущего спирометра. Имеет урезанную версию ПО для ПК и такой же большой арсенал измеряемых параметров.

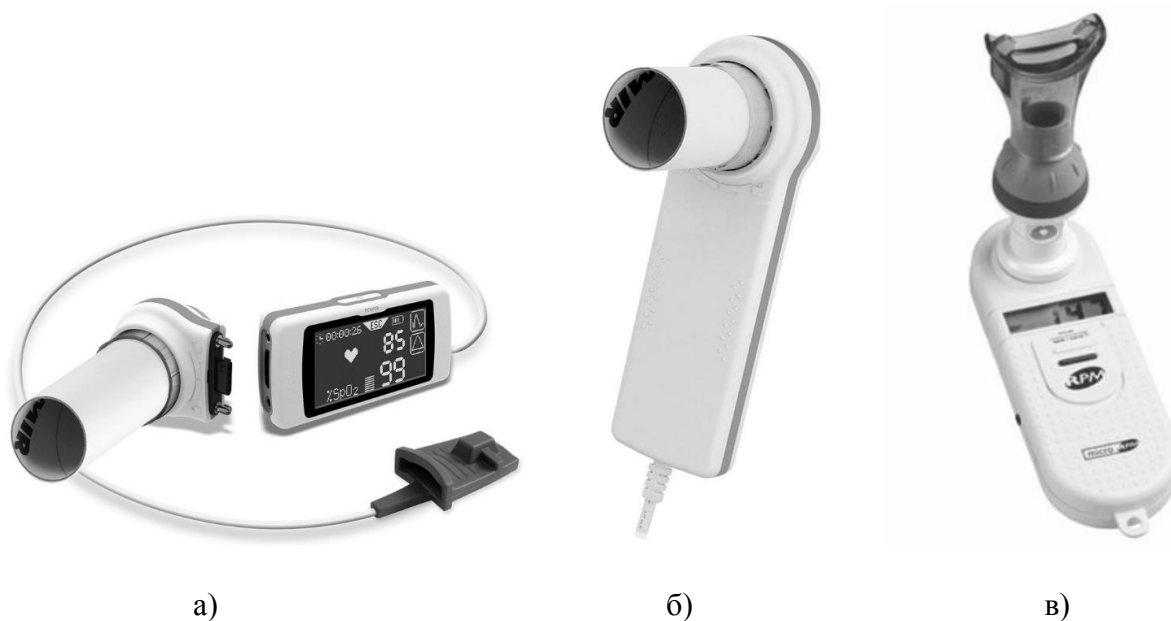


Рисунок 1 – Спирометры Spirodoc MIRSP01 (а), MiniSpir Light MIRmS-RU-1 (б) и Micro RPM (в)

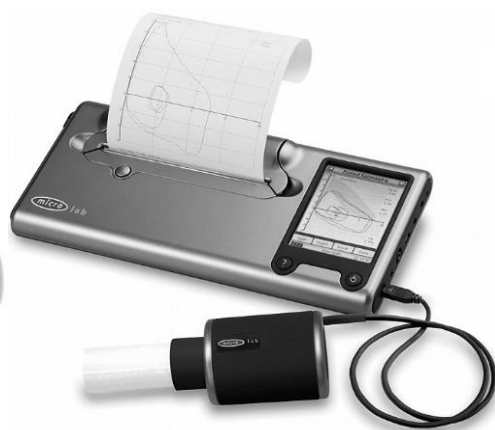
Питание устройства, а также его соединение с компьютером осуществляется через порт USB. Внешний вид устройства показан на рисунке 1б.

Спирометр Micro RPM американской компании Vyairе (рисунок 1в) измеряет максимальное инспираторное и экспираторное давление, а также назальное инспираторное давление. Устройство работает от батареек и может быть использовано вместе с программным обеспечением Puma.

Спирометр BTL-08 SPIRO PRO производства Чехии предназначен для проведения тестов и управления записями пациентов. Результаты теста видны на экране, а также могут быть распечатаны или экспортированы на ПК. Внешний вид спирометра показан на рисунке 2а. Подходит для обследований в педиатрии. Записанные данные можно сравнить с предыдущими обследованиями.



а)



б)

Рисунок 2 – Спирометры BTL-08 SPIRO PRO (а) и MicroLab CareFusion (б)

Спирометр MicroLab CareFusion от компании Vyairе – портативное устройство с цветным сенсорным экраном и принтером (рисунок 2б). Имеет дополнительные функции пульсоксиметрии и звуковых сигналов. Присутствует анимационный тест для детей.

Результаты сравнения приборов сведены в таблицу.

Таблица – Характеристики устройств контроля дыхания

Характеристики	MIR SPIRODOC MIRSP01	MIR MIN- ISPIR LIGHT MIRmS-RU-1	Micro RPM (Vyairе)	BTL-08 SPIRO PRO	MicroLab Care- Fusion (Vyairе)
Работа от аккумулятора, электросети или др.	От аккумулятора, электросети	От USB порта	От батареек	От электросети	От аккумулятора, электросети
Измеряемые параметры	FVC, FEV1, PEF, FEF, FET, FIVC, PIF, VC, ERV, IC, VT, VE и др.	FVC, FEV1, FEF, FIVC, VC и др.	MIP, MEP, SNIP	FVC, FEV, PIF, FIV, SVC, VC, TV и др.	VC, FEV, FVC, PEF, MEF, MVV, FIVC, FET и др.
Программное обеспечение (ПК/смартфон)	ПК	ПК (до Windows Vista)	ПК	–	ПК
Сенсорный экран/кнопки	+	–	–	–	+
Дополнительные функции (пульсоксиметр, счётчик шагов и др.)	+	–	–	+	+
USB, Bluetooth	USB, Bluetooth	USB	–	USB	Mini USB
Точность измерения показателей, %	±2...5	±3...5	±3	±5	±3
Измерение потока, л/с	±16	±16	–	±16	–
Частота дискретизации, Гц	–	–	–	1000	–
Вес, грамм	100	65	175	3200	630
Стоимость, бел. руб.	≈ 4040-4700	≈ 4500	≈ 4700	≈ 6700	≈ 6600

К положительным аспектам данных приборов и других аналогов можно отнести следующее: многие из них предназначены для проведения измерений у детей, ПО имеет тесты или игры для детей, высокая точность измерений, эргономичный дизайн и некоторые другие функции.

Каждое из рассмотренных устройств предоставляет свой функционал, часть из которого общая для всех систем, однако есть некоторые особенности реализации. Как видно из таблицы, некоторые из устройств имеют обширный список измеряемых параметров, что может оказаться излишним. Здесь можно отметить также то, что производители устройств не указывают в открытых источниках информацию о способе измерения параметров и особенно их нормирования. Для некоторых параметров не существует универсальной формулы, которая подошла бы для всех случаев, а показатели нормы могут для жителей разных регионов. Из-за этого целесообразно было бы добавить функцию ручного внесения и/или изменения нормальных показателей.

Многие из спирометров ориентированы на работу совместно с персональным компьютером, что в некоторых случаях делает устройство непригодным для работы без ПК. Это может стать решающим фактором, например при вызове врача на дом. Для улучшения таких характеристик, как портативность и удобство, необходимо обеспечить работу со смартфонами. Это решит перечисленные проблемы.

К отрицательным качествам рассмотренных устройств следует также отнести отсутствие возможности подключения и передачи данных по сети Wi-Fi.

Большая часть компьютерного ПО для работы со спирометрами – очень сложная база данных с большим количеством параметров и настроек. Это может затруднить освоение программы как медицинскими работниками, так и простыми пользователями. Очень сложный интерфейс программы может послужить причиной возникновения ошибок.

На сегодняшний день спирометрия является наиболее простым и распространённым методом функциональной диагностики, и при этом не имеет особых противопоказаний. Поэтому является актуальной разработка мобильного устройства, ориентированного на совместное использование со смартфоном, обладающее минимально полезным набором параметров и, в следствие этого, менее сложным интерфейсом, позволяющим упростить применение спирометра.

Список цитированных источников

1. Чикина, С. Ю. Спирометрия в повседневной врачебной практике / С. Ю. Чикина, А. В. Черняк // Лечебное дело. – 2007. – № 2. – С. 29.
2. Физиология дыхания / А. Г. Чучалин [и др.] // РНИМУ им. Н.И. Пирогова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://do.rsmu.ru/fileadmin/user_upload/mbf/c_fiziologii/Glava_Fiziologija_dykhanija.pdf. – Дата доступа: 13.04.2022.

БЕСПИЛОТНОЕ ГРУЗОВОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО

Беспилотные транспортные средства (БТС) в последние два десятилетия занимают существенную нишу в технологическом развитии общества. Разработаны беспилотные автомобили, которые в настоящее время проходят тестирование на автомагистралях. В последние годы наблюдается рост интереса среди ученых и производителей автотранспорта к беспилотным автомобилям, способным перемещаться по дорогам без участия человека [1,2].

Особое место в развитии беспилотного транспорта занимают так называемые беспилотные тележки (БТ). Они уже сейчас используются в складских помещениях, заводских цехах, в некоторых крупных портах для автономного перемещения грузов. Перспектива их применения довольно широка: подвоз комплектующих со склада на сборочный участок, отвоз готовых изделий от металлообрабатывающих станков на промежуточный склад хранения и т. д. Многие передовые страны (Германия, Дания, Япония, Россия) производят их серийно.

Сегодняшний успех БТ на предприятиях можно объяснить тем, что маршруты их движения заранее запрограммированы, а все препятствия и «неожиданности» устранены. Кроме того, они двигаются медленно, выдерживая между собой дистанцию около метра, для чего оснащены достаточно простыми и надежными устройствами безопасности, предотвращающими столкновения. Погодные условия для них совсем не проблема, так как они функционируют внутри помещения. А сбои в работе не страшны, поскольку техники по обслуживанию всегда рядом.

Кстати, сегодня только на больших заводах и крупных складах в Европе работает более 30 000 роботизированных тележек. В мясожировом производстве они пока не нашли применения, хотя их эффективность и возможности не вызывают сомнений. В следующем разделе будет приведена схема их использования в цехе на линии разделки скота.

Беспилотная тележка (AGV – Automatic guided vehicle) – транспортер с электроприводом, предназначенный для перемещения грузов. Тележка автоматическая, а это значит, что для ее обслуживания не нужен отдельный оператор – тележки двигаются по заданной траектории в автономном режиме без участия человека.

Беспилотная тележка снабжена всеми необходимыми системами и элементами безопасности, может эксплуатироваться на вредных или опасных производствах, местах скопления людей и других движущихся тележек.

В зависимости от типа, беспилотная тележка работает:

- 1) буксиром, перевозя другие тележки;
- 2) перевозчиком, поднимая и перевозя на себе грузы (стеллажи, паллеты и т. д.).

Основные направления работы:

- 1) движение по предварительно определенной траектории различной формы, включая развилки;

- 2) поддержание постоянной скорости в случае сопровождения конвейера или других объектов;
- 3) остановки и продолжение движения, как в заранее определенных позициях, так и "по требованию" оператора;
- 4) загрузка и разгрузка перевозимых компонентов;
- 5) беспроводная связь с другими тележками или центральным терминалом для создания сети тележек, движущихся без участия людей;
- 6) картографирование неподвижных препятствий для проезда на минимальном расстоянии;
- 7) распознавание перемещающихся препятствий, ожидание их исчезновения и продолжение работы.

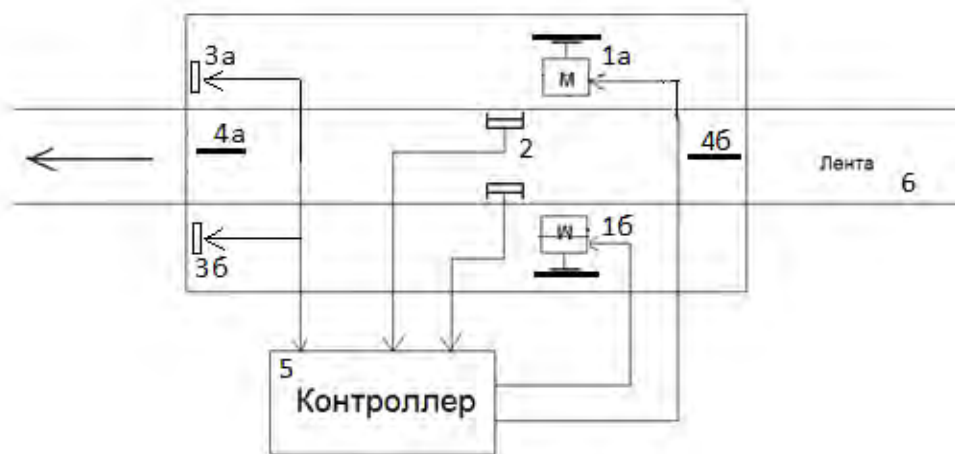
Следуя по маршруту, беспилотная тележка может:

- 1) останавливаться и снова начинать движение;
- 2) сопровождать конвейер на постоянной скорости;
- 3) выполнять другие запрограммированные действия.

В структуру автоматически управляемой тележки входят(рисунок 1):

- 1) блок привода, с двумя независимыми электромоторами, обеспечивающий тягу и поворот на маршруте следования;
- 2) блок энергообеспечения, содержащий набор герметичных необслуживаемых аккумуляторов (разрешены для применения в помещениях, где находятся люди, не требуют специальной комнаты для зарядки);
- 3) блок управления с программируемым контроллером, отвечающий за процесс движения;
- 4) система безопасности и оповещения, включающая в себя свето-звуковую сигнализацию при движении и сертифицированный ультразвуковой дальномер;
- 5) система навигации, позволяющая реализовать движение по заданной траектории;
- 6) пульт управления.

Использование этих систем позволяет беспилотной тележке следовать по заданному маршруту, включая развилки и повороты, контролировать препятствия на пути следования, останавливаться при их наличии и продолжать движение при первой возможности.



- 1а, 1б – ведущие мотор-колеса; 2 – система навигации, состоящая из индукционных и инфракрасных датчиков; 3а, 3б – ультразвуковые датчики системы безопасности; 4а, 4б – поддерживающие поворотные колеса; 5 – блок управления (контроллер); 6 – металлическая лента

Рисунок – Структура беспилотной тележки

Беспилотная тележка имеет четыре колеса: 2 из них ведущие, остальные поддерживающие. Поддерживающие колеса вращаются на 360 градусов, чтобы в случае чего тележка могла развернуться вокруг своей оси и продолжить движение без сторонней помощи. Также тележка имеет три типа датчиков. Индуктивные и инфракрасные датчики, расположенные в самом низу тележки, будут считывать траекторию магнитной ленты или чёрной линии. Датчики, расположенные впереди автоматического транспорта должны предотвращать любое столкновение с препятствием, поэтому применяются ультразвуковые датчики расстояния. Все сигналы, получаемые датчиками, обрабатываются контроллером, который вырабатывает управляющий сигнал для драйверов привода.

Беспилотная тележка следует по предварительно определенной траектории. Старт движения может осуществляться по нажатию кнопки или событию: начало смены, прибытию груза, сигнал оператора.

Три варианта определения маршрута беспилотной тележкой:

1. По металлической ленте – наклеивается на пол, не мешает, легко создавать развилки, остановки и повороты. Дешевый способ, но лента изнашивается механически. При таком режиме работают индуктивные датчики, которые выдают сигнал при наличии магнитного поля.

2. По чёрной линии – рисуется на полу, не мешает, легко создавать развилки, остановки и повороты. Дешёвый способ, но при перестройке маршрута придётся стирать линию. При таком режиме работают ИК-датчики (датчики чёрной линии), которые работают по принципу отражения инфракрасного луча от поверхности пола.

3. Комбинированный режим – на пол наклеивается металлическая лента и покрывается чёрным матовым лаком. Более дорогой способ, однако самый надёжный. При этом режиме работают одновременно два типа датчиков.

На панели управления находятся следующие кнопки:

- 1) кнопка «Питание»;
- 2) кнопка «пуск»;
- 3) переключатели для смены режимов определения маршрута и смены направления движения.

Беспилотная тележка получает команды от металлической ленты (чёрной линии), наклеенной на пол.

Список цитированных источников

1. Пролиско, Е. Е. Динамическая модель работы транспортной системы «ИНФОБУС» / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть / Материалы научно-технической конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы». Брест, Беларусь, 25–28 мая 2016 г. – Брест : «БрГТУ», 2016. – С. 49–54.

2. Шуть В. Н. Интеллектуальные робототехнические транспортные системы / В. Н. Шуть, Л. Персия. – Брест: Издательство УО «БрГТУ», 2017. – 230 с.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ РЕСПИРАЦИИ ИНТЕРФЕЙСОМ USB

Каждый день создаётся множество технических средств для диагностики тех или иных заболеваний, для реабилитации после операций или же для ежедневного контроля жизненных показателей. Люди приобретают фитнес-трекеры, устанавливают на смартфоны шагомеры и многими иными способами контролируют свою активность в течение дня.

То же самое происходит и в медицинских учреждениях. Человечество за всю его историю сталкивалось со множеством заболеваний, эпидемий и пандемий. Пандемия COVID-19 показала, насколько опасными могут быть вирусы, как быстро они могут распространяться, а также насколько быстро поражаются лёгкие человека. Так возникла необходимость быстрой диагностики состояния лёгких. Каждый день делать флюорографию или рентгеновскую компьютерную томографию не представляется возможным, к тому же это не безвредно для человека.

Но кроме этих способов можно также использовать возможности спирометрии. Спирометр – это устройство, которое позволяет оценить объём вдыхаемого и выдыхаемого человеком воздуха, а также скорость его прохождения по дыхательным путям в различных состояниях. Основываясь на измерениях устройства можно рассчитать множество других показателей, которые являются важными при определении состояния дыхательной системы человека.

Основные исследуемые при спирометрии параметры – это объём, поток и время. Наиболее часто используются следующие характеристики: форсированная жизненная ёмкость лёгких (ФЖЁЛ, FVC), жизненная ёмкость лёгких (ЖЁЛ, VC), общая ёмкость лёгких (ОЁЛ, TLC), объём форсированного выдоха за первую секунду манёвра форсированного выдоха (ОФВ1, FEV1), соотношение ОФВ1/ФЖЁЛ (модификация индекса Тиффно), остаточный объём лёгких или остаточный воздух (ООЛ, OV, RV) и другие. Существуют различные таблицы и формулы для определения должных величин спирометрических показателей для здоровых и некурящих людей. Эти величины зависят от антропометрических параметров человека: роста, пола, возраста, расы. Чем выше человек, тем больше легочные объёмы и потоки. У женщин объём лёгких меньше, чем у мужчин такого же роста. С возрастом эластичность легочной ткани снижается, в результате происходит снижение объёмных и скоростных показателей [1]. В таблице 1 приведены примеры значений данных характеристик для мужчин и женщин возрастом в 25 лет, с ростом 180 см для мужчин и 170 см для женщин.

Также необходимо перечислить такие важные измеряемые величины, как:

- МIP (МДИ), maximum inspiratory pressure, максимальное давление на вдохе;

- МЕР (МДЭ), maximum expiratory pressure, максимальное давление на выдохе;
- SMIP (ПМДИ), sustained maximum inspiratory pressure, постоянное максимальное давление инспирации;
- SMER (ПМДЭ), sustained maximum expiratory pressure, постоянное максимальное давление экспирации.

Соответствующие примеры для данных величин приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Нормальные значения параметров, характеризующих механику дыхательной системы

Параметры	Нормальные значения	
	Мужчины	Женщины
Общая ёмкость лёгких, л	7,3	5,4
Жизненная ёмкость лёгких, л	5,6	4,0
Форсированная жизненная ёмкость лёгких, л	5,4	4,0
Остаточный объём лёгких, л	1,6	1,4
Объём форсированного выдоха за 1 секунду, л	4,5	3,5
Растяжимость грудной клетки, л·кПа ⁻¹	1,3	
Растяжимость лёгких, л·кПа ⁻¹	2,6	
Сопротивление дыхательных путей, кПа·л ⁻¹ ·сек	0,3	

Таблица 2 – Нормальные значения максимального давления на входе в зависимости от возраста и пола человека

Возраст, лет	Максимальное давление инспирации, смН ₂ О	
	Мужчины	Женщины
от 18 до 29	128	97
от 30 до 39	128,5	89
от 40 до 49	117,1	92,9
от 50 до 59	108,1	79,7
от 60 до 69	92,7	75,1
от 70 до 83	76,2	65,3

Нормальные величины максимального давления воздуха при экспирации и инспирации также можно рассчитать по различным формулам. Формулы (1.1) и (1.2) предназначены для расчёта МIP у мужчин и женщин соответственно, (1.3) и (1.4) – МЕР у мужчин и женщин соответственно:

$$MIP_M = -0,81 \cdot B + 165,3, \quad (1.1)$$

$$MIP_{\text{ж}} = -0,61 \cdot B + 115,6, \quad (1.2)$$

$$MEP_M = -0,80 \cdot B + 155,3, \quad (1.3)$$

$$MEP_{\text{ж}} = -0,49 \cdot B + 110,4, \quad (1.4)$$

где B – возраст человека в годах.

Структура автономного устройства, способного измерять спирометрические показатели и взаимодействовать со смартфоном для выгрузки данных, может быть описана схемой, приведенной на рисунке.

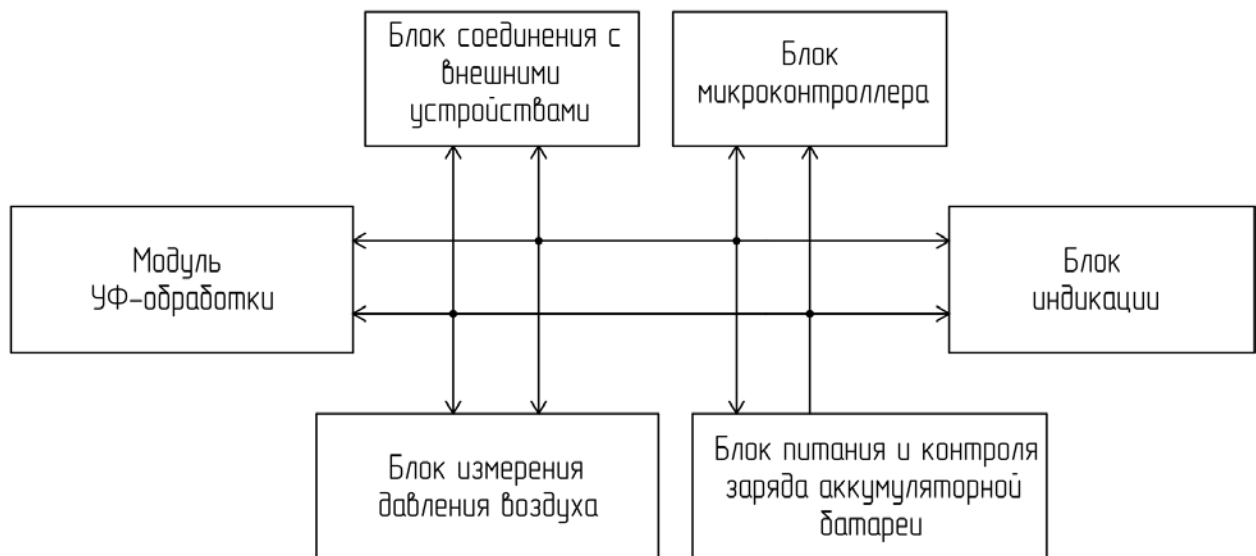


Рисунок – Структура автономного спирометрического устройства

Блок питания и контроля заряда отвечает за питание всех элементов устройства и зарядку встроенной литий-ионной батареи требуемым током и напряжением. Совместно с зарядкой в этом блоке также осуществляется передача данных между подключаемыми по шине USB-устройствами.

Блок индикации состоит из нескольких элементов. OLED-дисплей используется для отображения различной информации пользователю:

- начальный экран при загрузке устройства (может использоваться для отображения информации о производителе);
- уровень заряда аккумуляторной батареи;
- список возможных тестов устройства;
- начальное значение при измерении;
- конечное значение при измерении;
- индикация при начале измерения.

Цветная светодиодная индикация используется для оповещения о возникновении ошибок в работе устройства или во время измерения.

Блок микроконтроллера отвечает за управление всеми элементами устройства, снятие и обработку данных с датчика давления, запись полученных значений в энергонезависимую память и передачу данных по интерфейсу USB.

К блоку УФ-обработки относится ультрафиолетовый светодиод и схема управления для него. Отвечает за обработку поверхностей и воздуха внутри устройства для избежания заражения следующего пользователя после предыдущего.

В блок измерения давления был отнесён дифференциальный датчик измерения давления, который фиксирует изменение давления вдыхаемого или выдыхаемого воздуха и передаёт полученные данные в блок микроконтроллера.

Схемотехнически приведенная архитектура устройства может быть построена на основе следующих компонентов.

Для управления работой устройства целесообразно использовать микроконтроллер ATmega328P. Это маломощный 8-разрядный КМОП-микроконтроллер, основанный на улучшенной архитектуре AVR RISC. Благодаря пропускной способности в 1 MIPS (MIPS – million instructions per second, миллион инструкций в секунду) на МГц становится возможной оптимизация энергопотребления системы в зависимости от скорости обработки. Передача данных по интерфейсу USB может осуществляться при помощи микросхемы USB FT232RL.

Основным элементом блока измерения давления может являться дифференциальный датчик давления ХGZP6899А. Он имеет небольшие размеры, время отклика 2,5 мс, точность измерения $\pm 2\%$.

Блок питания и контроля заряда аккумуляторной батареи включает преобразователь и стабилизатор напряжения, в роли которых могут выступать соответственно микросхема SX1308 – повышающий преобразователь постоянной частоты, предназначенный для небольших устройств с низким энергопотреблением – и стабилизатор напряжения LM1117. Собственно зарядным устройством постоянного тока/постоянного напряжения для литий-ионных аккумуляторов может являться микросхема TP4056.

Для реализации модуля ультрафиолетовой обработки необходимы светодиоды соответствующего диапазона, а также драйвер светодиодов – микросхема LM3404МА.

Список цитированных источников

1. Чикина, С. Ю. Спирометрия в повседневной врачебной практике / С. Ю. Чикина, А. В. Черняк // Лечебное дело. – 2007. – № 2. – С. 29.
2. Физиология дыхания / А. Г. Чучалин [и др.] // РНИМУ им. Н.И. Пирогова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://do.rsmu.ru/fileadmin/user_upload/mbf/c_fiziologii/Glava_Fiziologija_dykhanija.pdf. – Дата доступа: 13.04.2022.
3. Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях: Р 3.5.1904-04. – Взамен Р 3.1.683-98; введ. 2004-03-04. – Москва : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2005. – 46 с.
4. Ультрафиолет: эффективная дезинфекция и безопасность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/500942/>. – Дата доступа: 13.04.2022.

УДК 004.94

Шафран М. В.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Хведчук В. И.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРОТОКОЛА

Введение

Современная техника имеет большое количество входов и выходов для обмена данными с другими устройствами. В то же время, некоторые электронные системы стали достаточно сложными и состоят из множества самостоятельных

электронных устройств, которые должны каким-то образом взаимодействовать между собой. Интерфейс и является тем связующим звеном, которое позволяет решать данные задачи. На сегодняшнем этапе развития существует очень много проводных и беспроводных интерфейсов. Очевидным плюсом беспроводных интерфейсов является отсутствие проводов. К ним относят, например, Bluetooth, который широко используется в мобильных телефонах, Wi-Fi, который обеспечивает соединение на достаточно высокой скорости и имеет радиус действия более 100 метров при отсутствии препятствий. Проводные интерфейсы обеспечивают надежность и защищенность соединения, а также возможность передачи информации на высокой скорости. Например, высокоскоростной интерфейс FireWire, стандарт Ethernet, который применяется в основном в локальных сетях; формат HDMI – для мультимедийных данных.

Одним из самых распространенных проводных интерфейсов является универсальная последовательная шина, или USB. Практически ни одно современное устройство, работающее с информацией, не обходится без него. USB-порты есть практически во всех ноутбуках и системных блоках. В устройствах небольшого размера, таких как видеокамера или мобильный телефон, могут использоваться уменьшенные версии данного стандарта. USB фактически стал основным интерфейсом подключения периферии к цифровой технике.

Обзор известных решений

Программа Proteus VSM включает в себя более 6000 электронных компонентов со всеми справочными данными, а также демонстрационные ознакомительные проекты. Программа имеет инструменты USBCONN и COMPIM, позволяющие подключить виртуальное устройство к портам USB и COM компьютера. При подсоединении любого внешнего прибора виртуальная схема будет работать с ним, как если бы она существовала в реальности. Proteus VSM поддерживает следующие компиляторы: CodeVisionAVR и WinAVR (AVR), ICC (AVR, ARM7, Motorola), HiTECH (8051, PIC Microchip) и Keil (8051, ARM). Существует возможность экспорта моделей электронных компонентов из программы PSpice. В восьмую версию пакета входит среда разработки VSM Studio, которая позволяет быстро написать программу для микроконтроллера, используемого в проекте, и скомпилировать ее. Несмотря на то, что программа работает с достаточно сложными устройствами, которые состоят из нескольких микроконтроллеров и даже с чипами от разных производителей в одном устройстве, нужно понимать, что, безусловно, симуляция повторяет работу не абсолютно точно [1, 2].

Программа COM Port Data Emulator (CPDE) является инструментом для эмуляции устройства, которое подключено к последовательному порту, COM-порту или сети Ethernet и которое генерирует какой-либо поток последовательных данных. Данная программа может формировать поток данных, преобразовывать поток в пакеты данных для портов RS-232, TCP/IP или UDP и отправлять их через выбранный порт. Также COM Port Data Emulator может читать поток данных из текстового (или двоичного) файла или создавать произвольный поток данных [3].

Программа Tera Term (иногда можно встретить TeraTerm) – это свободная служебная программа, которая распространяется по лицензии BSD, для работы с терминалами по протоколам Telnet, SSH1, SSH2. Работает через реальные и

виртуальные COM-порты (RS232, USB) в интерактивном режиме или в режиме командной строки, имеющем возможность управления сессией с помощью встроенного макроязыка [4].

Существуют соответствующие драйверы и программы, с помощью которых виртуальный порт в системе. Например, Virtual Serial Ports Emulator, COM Port Data Emulator, Virtual Null Modem и т. д. Программа Virtual Null Modem – это утилита, эмулирующая одну или несколько пар портов RS-232, которые соединены между собой нуль-модемным кабелем. Другими словами, можно создать много виртуальных последовательных портов, которые практически не будут отличаться от настоящих и будут соединяться попарно виртуальный нуль-модемным кабелем [3].

Имеются также средства моделирования, связанные с программными системами [5,6].

Структура разрабатываемой системы

Основной задачей моделирования в рассматриваемом случае является наглядное изображение логики функционирования УАПП (универсального асинхронного приемопередатчика), то есть взаимодействие его частей на функциональном уровне. Причем внутренняя организация узлов (триггеров, счетчиков, регистров, и др.) не исследуется, так как иначе модель будет загромождена ненужными для понимания логики работы схемы деталями и потеряет наглядность.

Рассмотрим общую структурную схему взаимодействия модулей (рисунок 1).

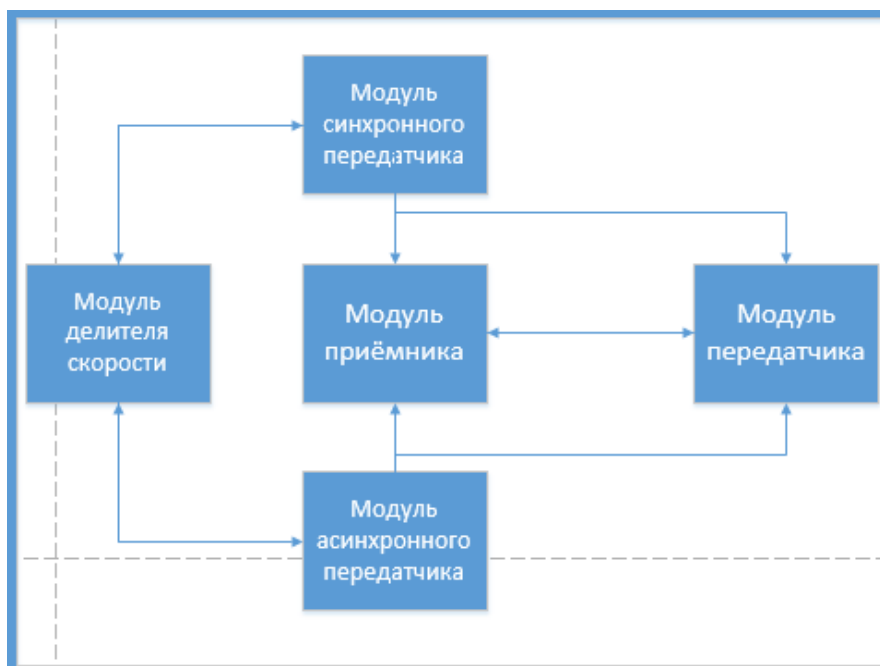


Рисунок 1 – Общая структурная схема взаимодействия модулей

На данной схеме мы видим модуль делителя скорости. Делитель – одна из немаловажных частей УАПП (УСАПП), однако на всех остальных моделях он либо не показан, либо показан условно. Интерфейс модели представлен на рисунке 2.

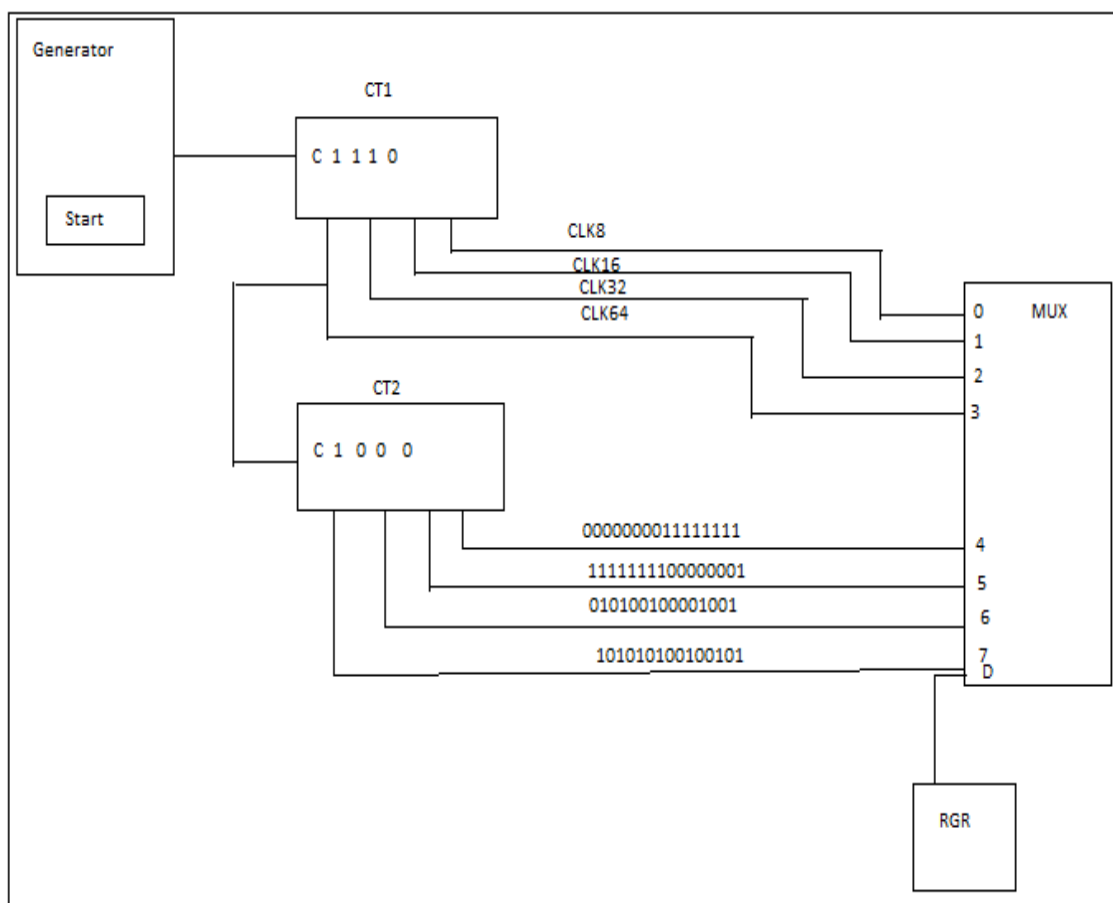


Рисунок 2 – Интерфейс модуля делителя скорости

Модель состоит из нескольких частей: генератора тактовых импульсов, счетчиков, блоков тактических анализаторов, мультиплексора, таблицы соответствия выходных частот значению в регистре RGR (скорости) и самого RGR.

Кнопка на генераторе запускает (останавливает) подачу тактовых импульсов, а бегунок позволяет задавать темп эмуляции. Логические анализаторы показывают диаграммы сигналов, поступивших на их выходы. Щелчок на строке таблицы соответствия задает значение в регистре RGR. Это значение может быть введено также посредством клавиатуры после щелчка на окне ввода, расположенном на панели регистра RGR.

Заключение

Проведен анализ существующих последовательных интерфейсов, выявлены их достоинства и недостатки, основные области применения тех или иных интерфейсов. Более подробно рассмотрены средства моделирования Proteus. За основу для реализации выбран интерфейс USB, являющийся в настоящее время одним из самых распространенных интерфейсов подключения периферии к бытовой цифровой технике.

Список цитированных источников

1. PROTEUS [Elektronik resourse]. – Mode of acces: www.labcenter.com- Data of access: 11.04.2022.
2. Priya Ravindran, PROTEUS For Electronic Design Automation [Elektronik resourse]. – Mode of acces: <https://www.electronicforu.com/buyers-guides/proteus-electronic-design-automation>. – Data of access: 11.04.2022.

3. AGGsoftware (Technology at your service). [Elektronik resourse]. – Mode of acces: <https://www.aggsoft.ru/virtual-null-modem.htm>. – Mode of acces: 16.04.2022.

4. TeraTerm Project [Elektronik resourse]. – Mode of acces: <http://www.teraterm.org/> – Data of access: 16.04.2022.

УДК 656.13

Сукасян Т. М.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Шуть В. Н.

АЛГОРИТМ СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНА ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ ПОСРЕДСТВОМ РЕЛЬСОВОГО БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА «ИНФОБУС»

Целью данной работы является составление и тестирование алгоритма выбора остановок для посадки и высадки пассажиров при составлении плана развозки для интеллектуальной транспортной системы «Инфобус», принципы функционирования которой были подробно описаны в работах [1–3]. Данная транспортная система включает в себя:

- маршрутную линию, состоящую из k остановок;
- парк транспортных средств – инфобусов, управляемых из единого информационного центра, которые отправляются на маршрут в зависимости от интенсивности пассажиропотока;
- остановочных пунктов, на которых расположены системы терминалов для оплаты проезда пассажирами и сбора заявок на перевозку, которые поступают на сервер информационной транспортной системы.

Проходя через турникет на остановочном пункте, пассажир оплачивает проезд и также указывает остановочный пункт, до которого желает ехать. Информация с терминалов поступает на управляющий компьютер, который по этим данным формирует матрицу корреспонденций M_Z , $Z = 1, 2, \dots, k$ (формула 1). Каждый элемент этой матрицы m_{ij} определяет число пассажиров, которые следуют с остановки i на остановку j . Где $i, j = \overline{1, k}$, а k – количество остановок одного направления маршрута. Элементы матрицы M_Z , стоящие на главной диагонали и под ней равны нулю, так как пассажир не может ехать назад и не может выйти на остановке, на которой он сел в инфобус [4].

$$M_Z = \begin{pmatrix} 0 & m_{12} & m_{13} & \dots & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1k} \\ 0 & 0 & m_{23} & \dots & \dots & m_{2j} & \dots & m_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & m_{i,i+1} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & m_{k-1,k} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

При накоплении достаточного количества пассажиров либо по прошествии определенного времени управляющий сервер составляет план перевозки пасса-

жиров. Под планом перевозки подразумевается процедура последовательного вывода транспортных средств на маршрут, с указанием нескольких остановок для посадки и высадки пассажиров. Для каждого инфобуса этот набор остановок будет индивидуален. Пассажиры, у которых станция назначения совпадает с предложенным набором остановок подошедшего инфобуса, занимают места в салоне транспортного средства, оставшиеся пассажиры ждут следующий инфобус.

План развозки пассажиров составляется для матрицы Mz , в которой хотя бы один элемент удовлетворяет условию $m_{ij} \in [a \cdot V; V]$, где a – коэффициент эластичности, V – объем транспортного средства. Рассмотрим i -ю строку матрицы корреспонденций: $(0 \dots 0 \ m_{i,i+1} \ m_{i,i+2} \dots \ m_{i,k})$. Переобозначив элементы i -й строки следующим образом: элемент $m_{i,i+1}$ обозначим через m_1 , элемент $m_{i,i+2}$ – через m_2 и так далее до элемента $m_{i,k}$, который обозначим через m_r , где $r=k-i$ – число ненулевых элементов в строке i , получим множество $P = \{m_1, m_2, \dots, m_r\}$. Тогда задача по перевозке пассажиров с i -й остановки минимальным количеством инфобусов и с не более чем одной остановкой в пути для каждого пассажира может быть сформулирована так: требуется разбить множество P на подмножества так, чтобы в каждом из них было не более двух элементов и при этом их сумма была немного меньше либо равна V .

Эту задачу можно записать в виде системы неравенств:

$$\begin{cases} m_1 x_{11} + m_2 x_{12} + \dots + m_r x_{1r} \leq V; \\ m_1 x_{21} + m_2 x_{22} + \dots + m_r x_{2r} \leq V; \\ \dots \\ m_1 x_{r1} + m_2 x_{r2} + \dots + m_r x_{rr} \leq V; \\ \sum_{q=1}^r x_{pq} \leq 2, \sum_{p=1}^r x_{pq} \leq 1. \end{cases} \quad (2)$$

С целевой функцией:

$$F = \left| \frac{\vec{m} \cdot X}{|\vec{m}|} - a \right| \rightarrow \min, \quad (3)$$

где \vec{m} – вектор, состоящий из элементов множества P .

X – матрица решений системы неравенств (формула 2), состоящая из элементов x_{pq} , принимающих значение 1, если пассажиры следуют на остановку $i+q$, и значение 0, если пассажиры следуют на другую остановку [5–8].

Для решения задачи (формула 1 – формула 2) был составлен алгоритм, который тестировался по следующим параметрам:

- количество задействованных инфобусов в плане развозки результате применения алгоритма ЧИНФ. Единица измерения – инфобус;
- коэффициент использованной пассажировместимости при реализации плана развозки, который был посчитан по следующей формуле:

$$K_{ПВ} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{перез}} (V - V_{fPi})}{V \cdot n_{перез}}, \quad (4)$$

где $n_{перез}$ – общее число всех перегонов маршрута (интервалов маршрута между соседними остановками) по всем инфобусам плана развозки, на которых инфобусы перевозили пассажиров;

V_{fpi} – объем свободных мест в инфобусе на перегоне;

- среднее число пассажиров, перевезенных одним инфобусом ЧПАСС.

Для испытаний генерировалась матрица корреспонденции, которая заполнялась случайными значениями из отрезка $[0, V]$ и для каждого значения коэффициента эластичности $\{0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9\}$, по ней строился план развозки пассажиров согласно задаче (формула 1 – формула 2).

Приведенная ниже таблица содержит данные средних значений параметров $Ч_{ИНФ}$, $К_{ПВ}$, и $Ч_{ПАСС}$ по коэффициентам эластичности $\{0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9\}$ и на входных параметрах $V = 15, k = 10$.

Таблица – Средние значения параметров $Ч_{ИНФ}$, $К_{ПВ}$, и $Ч_{ПАСС}$ по коэффициентам эластичности

	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$Ч_{ИНФ}$	14,73	14,45	12,18	10,18	6,82
$К_{ПВ}$	0,6623	0,6889	0,7459	0,7804	0,8328
$Ч_{ПАСС}$	18,28	18,97	20,71	22,66	22,46

Из таблицы видно, что с ростом коэффициента эластичности растет количество пассажиров, перевезенных одним инфобусом, при этом число использованных в плане развозки инфобусов падает. Также можно увидеть, что с ростом коэффициента эластичности растет коэффициент использованной пассажиром вместимости, что говорит о лучшей заполняемости инфобуса.

Описанный алгоритм построения плана развозки пассажиров для беспилотной транспортной системы «Инфобус» позволяет задать наполняемость транспортного средства на маршруте, а также значительно сократит время, затрачиваемое пассажиром в пути за счет того, что у каждого пассажира будет не более одной промежуточной остановки. Это сделает поездку более комфортной для пассажиров, что увеличит спрос на данный вид городского пассажирского транспорта и, как следствие, увеличит прибыль перевозчика.

Список цитированных источников

1. Шуть, В. Н. Высокопроизводительная система городской транспортировки пассажиров / В. Н. Шуть, Е. Е. Пролиско // Материалы VIII украинско-польской науч.-практ. конф. «Електроніка та інформаційні технології», Львов, 27–30 авг. 2016 г. / Львов. нац. ун-т им. И. Франка. – Львов, 2016. – С. 62–64.
2. Жогал, А. Н. Автоматический городской интеллектуальный пассажирский транспорт / А. Н. Жогал, В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Транспорт и инновации: вызовы будущего : материалы Междунар. науч. конф., Минск, 30 мая 2019 г. / Нац. б-ка Беларуси. – Минск, 2019. – С. 23–33.
3. Shuts, V. Cassette robotized urban transport system of mass conveying passenger based on the unmanned electric cars / V. Shuts, A. Shviatsova // Science. Innovation. Production : Proc. of the 6th Belarus-Korea Science and Technology Forum, Minsk, 10 Apr. 2019 / Belarusian National Technical University. – Minsk, 2019. – P. 81–83.

4. Шуть, В. Н. Алгоритм организации городских пассажирских перевозок посредством рельсового беспилотного транспорта «Инфобус» / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Actual problems of fundamental science – APFS'2019 : Proceedings Third International Conference, Dedicated by memory of prof. A. Svidzinskyi, Lutsk-Lake «Svityaz'», 1–5 June 2019 / Lesya Ukrayinka Eastern European National University. – Lutsk, 2019. – P. 222–226.

5. Сукасян, Т. М. Рельсовый скоростной городской транспорт / Т. М. Сукасян // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы XXIII Респ. науч. конф. студентов и аспирантов, Гомель, 23–25 марта 2020 г. / Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол.: С. П. Жогаль [и др.]. – Гомель, 2020. – С. 95–96.

6. Сукасян, Т. М. Оптимизация развозки пассажиров городским транспортом / Т. М. Сукасян // Сотрудничество – катализатор инновационного роста : сб. материалов 6 Белорус.-Балт. форума, Минск, 22–23 дек. 2020 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2020. – С. 94–95.

7. Сукасян, Т. М. Развозка пассажиров суперскоростным городским пассажирским транспортом / Т. М. Сукасян // IV Всеукраїнська Інтернет-конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Інформаційні технології: теорія і практика» : тези доповідей, Дніпро, 17–19 березня 2021 р. / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». – Дніпро, 2021. – С. 118–119.

8. Сукасян, Т. М. Об одном методе оптимизации перевозки пассажиров городским пассажирским транспортом / Т. М. Сукасян // Современные проблемы математики и вычислительной техники : сб. материалов XII Респ. науч. конф. молодых ученых и студентов, Брест, 18–19 нояб. 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. А. Головки (гл. ред.) [и др.]. – Брест, 2021. – С. 35–36.

УДК 004.031.6

Левчук А. А., Летченя С. А.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Шуть В. Н.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАРШРУТНЫХ ТАКСИ

Главные недостатки маршрутного транспорта связаны со значительными эксплуатационными затратами, небольшой вместимостью транспортных средств, загрязнением окружающей среды, высоким уровнем шума, непостоянным графиком работы. Но благодаря преимуществам маршрутного транспорта перед другими видами и, несмотря на присущие ему недостатки, оно получило значительное распространение.

В данный момент организации транспорта городов Беларуси не имеют достоверной информации о перевозимых пассажирах по часам суток. Это вызывает определенные трудности в планировании графика движения, так как неизвестно, сколько может понадобиться маршруток на перевозку.

Одно из возможных решений – создать систему, позволяющую пользователям регистрировать в системе заявки на проезд маршрутным транспортом. Это позволит рассчитывать загруженность маршрута на ближайшее время и, как следствие, корректировать количество транспортных средств на конкретном маршруте.

Основной задачей данного проекта является реализация системы на перевозку пассажиров городским общественным транспортом.

Обуславливается эта задача тем, что на текущем этапе развития системы городского общественного транспорта существует такая проблема, как движение маршрутных такси по маршрутам, на которых число реальных пассажиров значительно ниже, чем количество мест, доступное в транспортном средстве. Потенциальные клиенты не имеют возможности получить нужную им информацию об актуальном графике движения маршрутного такси и предпочитают другие виды транспорта. Это приводит к необоснованным тратам на топливо и потере выручки для операторов.

Приложение клиента-пассажира

Начальный экран приложения клиента-пассажира содержит весь функционал, необходимый для формирования заявки. Пользователю предоставляется возможность формирования заявок в двух режимах: с выбором желаемого маршрута или с выбором остановок. Также есть возможность отсканировать QR-код для автоматического выбора начальной остановки. Приложение осуществляет фоновую проверку на наличие прав использовать камеру мобильного устройства.

Макет данного экрана представлен на рисунке 1.

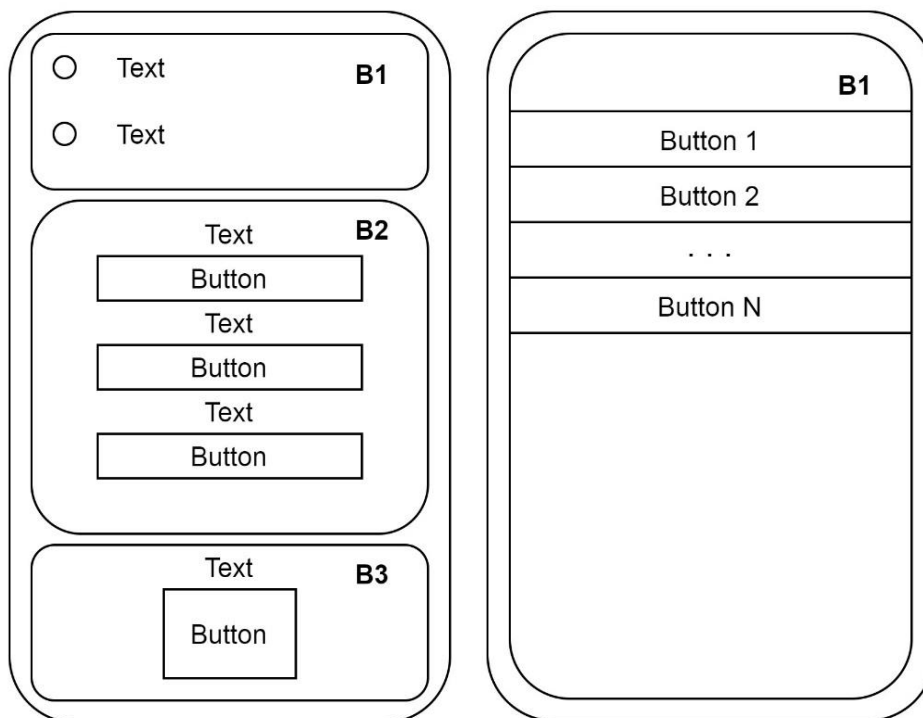


Рисунок 1 – Макет клиента-пассажира

Верхняя часть, обозначенная как «B1» (блок 1), содержит две кнопки для выбора режима работы приложения, который больше подходит пользователю.

Центральная часть, обозначенная как «B2» (блок 2), содержит 3 кнопки с описанием их назначения. Однако на момент начала работы приложения данные кнопки скрыты от пользователя, и он не имеет к ним доступа. После выбора режима работы приложения начнут последовательно появляться кнопки для формирования запроса. Таким образом мы обеспечиваем интуитивно понятный пользовательский интерфейс и избегаем возможных ошибок при формировании запроса.

При нажатии на каждую из трех кнопок происходит одинаковая последовательность действий: отправляется запрос на сервер на получение некоторого списка (номеров маршрутов или же остановок) по средствам мобильного интернета. Клиент получает ответ от сервера и ему открывается новый экран.

Нижний блок, обозначенный как «В3», содержит кнопку для перехода в режим сканирования QR-кода, что может упростить пользователю выбор начальной остановки. Пользователю достаточно просто навести объектив камеры на QR-код и начальная остановка автоматически будет выбрана.

Таким образом, работу приложения клиента-пассажира можно обобщить и свести к обобщенной схеме, представленной на рисунке 2.

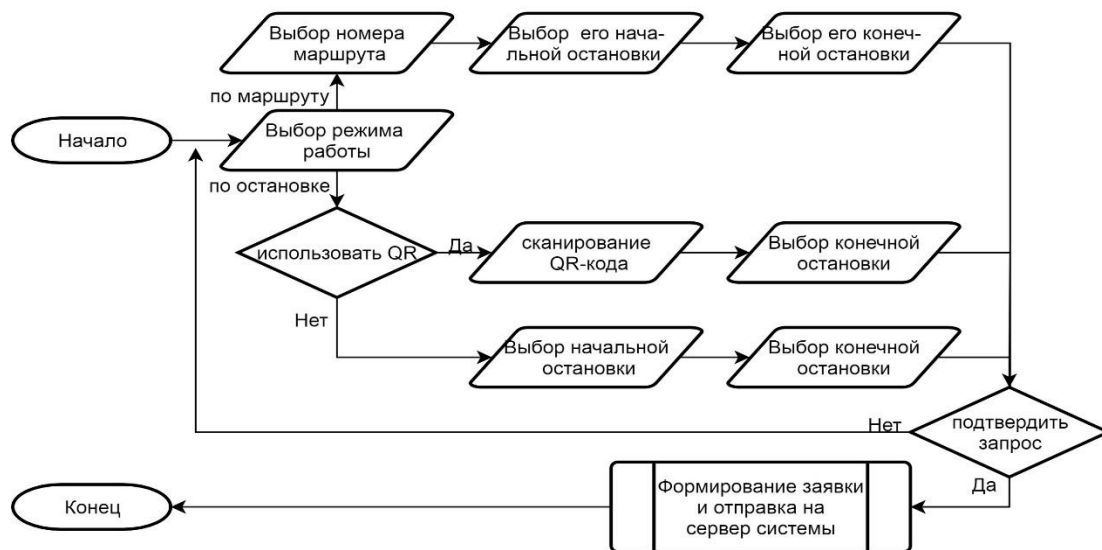


Рисунок 2 – Схема работы приложения клиента-пассажира

Приложение клиента-водителя

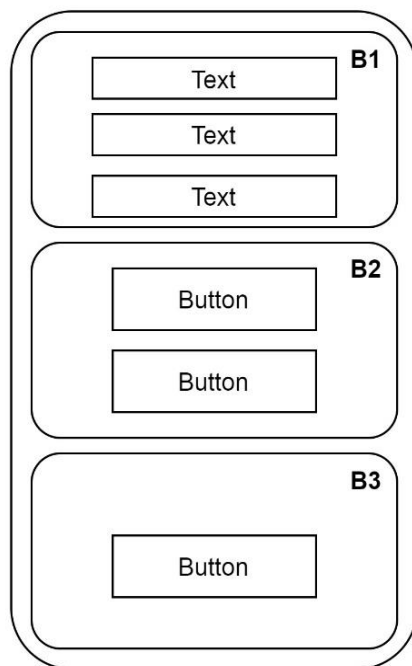


Рисунок 3 – Макет основного экрана

На рисунке 3 продемонстрирован макет основного, рабочего экрана, который водитель будет видеть на протяжении рабочего дня. Он поделен на 3 основных блока: блок «В1» – информативный, блок «В2» – функциональный, блок «В3» – специальный.

В первом блоке водителю будет динамически отображаться следующая информация: текущий номер маршрута, ближайшая остановка для посадки/высадки пассажиров, количество пассажиров в транспорте на текущий момент. Так как велика вероятность, что не все пассажиры будут использовать приложение для регистрации заявки, то указанное системой количество пассажиров будет не соответствовать реальному положению вещей.

Второй блок («В2») создавался как раз с целью решения проблемы определения фактического количества пассажиров в транспорте. У водителя на экране будут находиться две большие кнопки «+1» и «-1», которыми можно корректировать количество пассажиров. Данный подход позволит не только улучшить качество предоставляемых услуг, т. к. пассажиру будет предоставляться актуальная информация, но и позволит вести статистику соотношения людей, использующих приложение к не использующим его. Сбор этих данных особенно важен для оценивания динамики роста числа пользователей.

Третий блок («В3») предназначен для внештатных ситуаций и позволяет водителю выйти с аккаунта. Т. к. на стороне сервера используется специальная технология, позволяющая регулировать время нахождения в аккаунте, то кнопка «Выйти из системы» может и не пригодиться. Но в случаях, когда водителю приходится сойти с маршрута (поломка, авария, другие причины), этот блок может быть использован.

Таким образом, работу приложения клиента-водителя можно обобщить и свести к обобщенной схеме, представленной на рисунке 4.

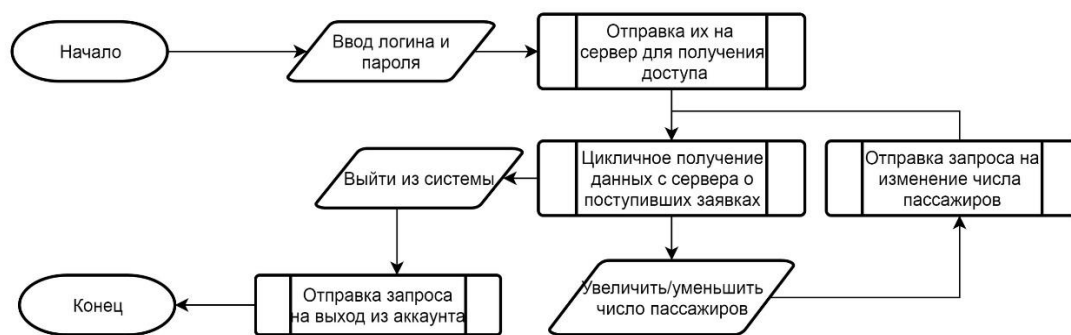


Рисунок 2 – Схема работы приложения клиента-водителя

Кроме экономического эффекта от применения системы оптимизации пассажироперевозок имеется ряд преимуществ для различных участников рынка транспортных услуг.

Для населения – повышение качества транспортного обслуживания, расширение перечня предоставляемых услуг, установление соответствия цены и качества транспортных услуг.

Для города – повышение уровня устойчивости, управляемости и безопасности работы маршрутного транспорта, снижение расходов на маршрутный транспорт, повышение привлекательности общественного транспорта как альтернативы использования личных автомобилей с соответствующими экологическими последствиями и проблемами развития улично-дорожной сети.

Для предприятий перевозки пассажиров – увеличение прибыли за счёт отказа от содержания избыточных транспортных средств.

Приведённые показатели свидетельствуют об экономической эффективности представленного проекта.

Список цитированных источников

1. Шуть, В. Н. Интеллектуальные робототехнические транспортные средства / В. Н. Шуть, Л. Персия. – Брест : БрГТУ, 2017 194 с.
2. Шуть, В. Н. Альтернативный метро транспорт на базе мобильных роботов / В. Н. Шуть, Е. Е. Пролиско // Штучний інтелект. – 2016. – № 2 (72) – С. 170-175.
3. Пролиско, Е. Е. Динамическая модель работы транспортной системы «ИНФОБУС» / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Материалы научно-технической конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы». Брест, Беларусь, 25–28 мая 2016 г. – Брест : «БрГТУ», 2016. – С. 49–54.
4. Николаев, М. В. Система оптимизации работы маршрутного такси / М. В. Николаев, В. Н. Шуть // Актуальні проблеми фундаментальних наук : матеріали IV Міжнар. наук. конф. – (Луцьк – Світязь, 01 – 05 черв. 2021 р.) – Луцьк : Вежа-Друк, 2021. – С. 177–179.
5. Жогал, А. Н. Автоматический городской интеллектуальный пассажирский транспорт / А. Н. Жогал, В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Транспорт и инновации: вызовы будущего: материалы Международной научной конференции. – Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2019. – С. 23–33.
6. Николаев, М. В. Математическая модель автоматизированной системы оптимизации работы маршрутного такси / М. В. Николаев // Актуальные вопросы физики и техники : сборник материалов X Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов / ГГУ им. Франциска Скорины ; редкол. Д. Л. Коваленко [и др.]. – Гомель, 2021. – Ч.1. – С. 166–168.

УДК 629.371.12

Мошко Д. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Бочарова Н. В.

О КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЕЛОСИПЕДА И ИНЖЕНЕРНОМ АНАЛИЗЕ РАМЫ В ПК SOLIDWORKS

При создании параметрической модели механической системы часто сталкиваются с проблемой ее статического расчета из-за нестандартных форм и размеров. В таком случае возможно использование программного комплекса SolidWorks [1]. В данной статье рассмотрены особенности создания параметрической модели детского велосипеда по типу «Stels Talisman», который является шоссейным и поступил на рынок в 2020 году, что говорит о применении последних технологий в данной модели.

Велосипед марки «Stels Talisman», предназначенный для детей в возрасте от двух до четырех лет, без переключения передач. Технические особенности: стальная рама (Hi-Ten или Hi Tensile, конструкционные стали улучшенного качества), жесткая стальная вилка, одинарные алюминиевые обода, ножные pedalные тормоза. Подходит для обучения и прогулочного катания в городских условиях, диаметр колес – 14 дюймов, вес – 10,5 кг. Параметрическая 3D-модель велосипеда состоит из следующих компонентов сборки: руль, рама, цепь, колеса, каретка со звездочкой, педали, седло (рисунок 1).



Рисунок 1 – Компоненты параметрической модели «Велосипед»

Используя необходимые условия сопряжения, все компоненты были объединены в сборку «Велосипед» и для наглядности движения, используя модуль «Исследование движения», выполнена анимация параметрической модели. Все это представлено в видеоролике (рисунок 2).



Рисунок 2 – Параметрическая 3D-модель «Велосипед»

Для более наглядного представления данной модели была выполнена анимация движения велосипеда с помощью интегрированного в SolidWorks модуля «Исследование движения» (рисунок 3). Вращающийся двигатель устанавливается на элемент сборки и рассчитывается движение велосипеда через заданный промежуток времени, ($t = 10$ с.) анимацию можно сохранить в avi-файл.

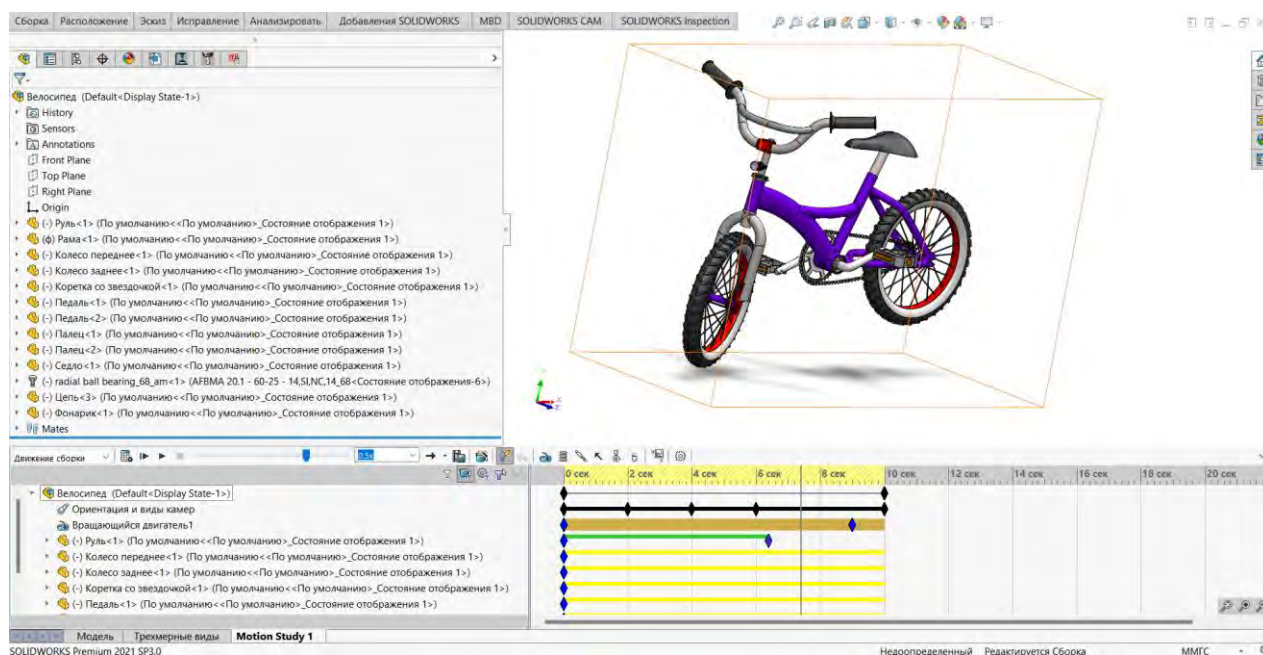


Рисунок 3 – Работа в модуле «Исследования движения» (Motion Study)

Используя добавления SolidWorks Simulation, выполнен статический расчет рамы и последующая оптимизация параметров элементов деталей и оценка несущей способности рамы, выполненной из разных материалов [2, 3, 4].

Нагрузка прикладывалась на раму от руля в виде двух удаленных сил и на нижний элемент от седла, а также учитывалось действие силы тяжести на систему. Рама фиксировалась в местах крепления заднего колеса двумя «подшипниками» и спереди как упруго-податливая связь (рисунок 4).



Рисунок 4 – Задание внешних нагрузок и креплений рамы

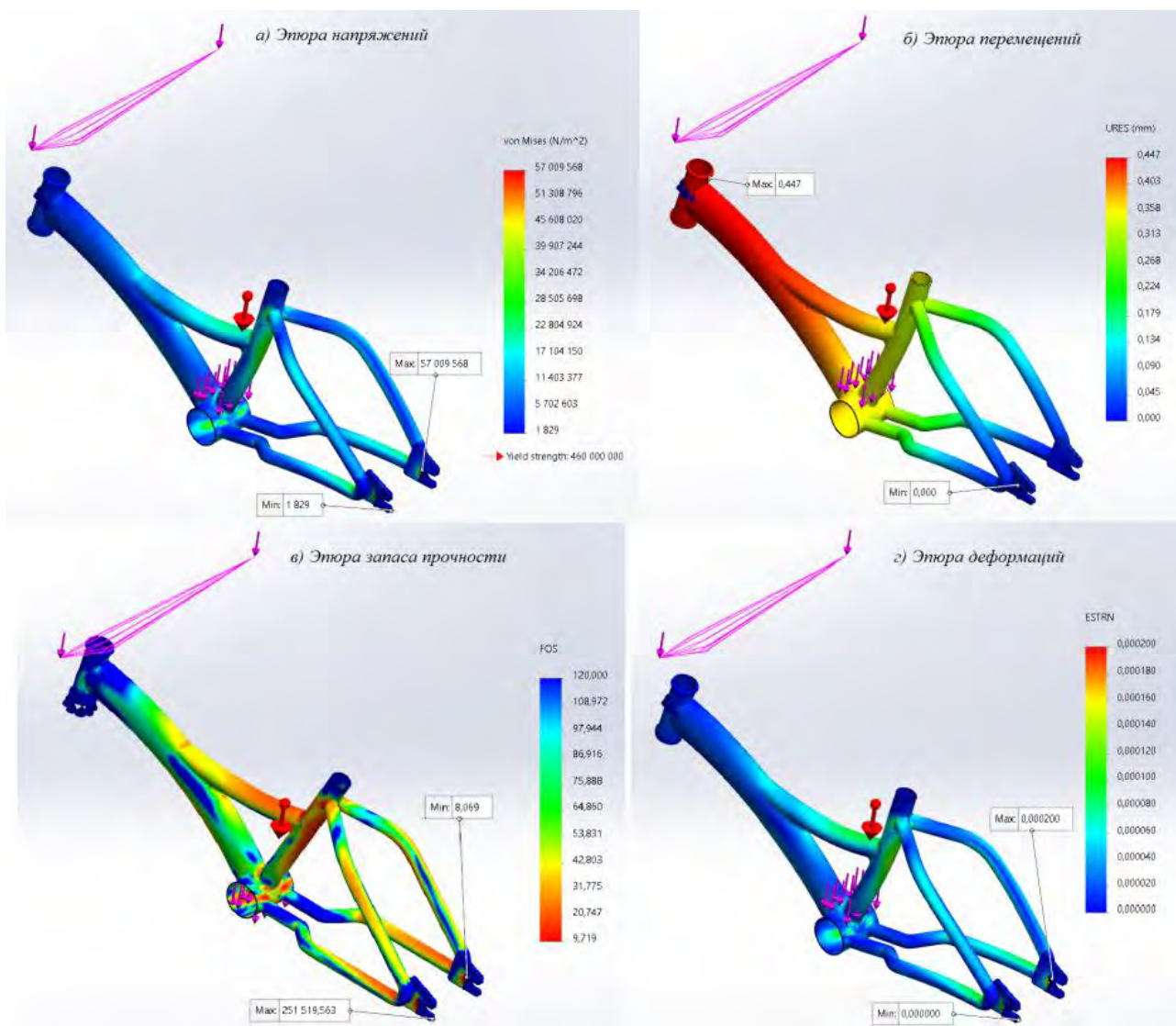


Рисунок 5 – Результаты статического расчета рамы при весе пассажира 100 кг

Был выполнен расчет рамы при весе пассажира 60 кг, значения на эпюрах не превышали допустимых величин, но при эксплуатации велосипеда могут возникать разные сценарии нагружения, поэтому был выполнен проверочный расчет рамы при увеличении веса пассажира до 100 кг. Результаты расчета представлены на рисунке 5, по запасу прочности (FOS) можно сказать, что материал – «сталь Hi-Ten» по всем сечениям рамы еще находится в зоне упругости.

Рамы велосипедов могут выполняться из разных материалов и у каждого материала есть свои положительные и отрицательные стороны. Бюджетный вариант – стальные и алюминиевые рамы, конструкции из титановых сплавов стоят несколько дороже, также выделяются рамы из карбона и углепластика, существуют экспериментальные образцы, которые изготавливаются из бамбука, магниевых составляющих и так далее.

Сталь. Для материала «сталь» можно выделить три разновидности данного материала: обыкновенная сталь (отличаются большим весом, малой степенью прочности, а также риску коррозии); сталь «Hi-Ten», которая относится к более

высокому классу (способна гасить вибрации во время движения, а также имеет стойкость к коррозионному процессу); сталь «Сго-Мо» (во время варки конструкции добавляется молибден, данное вещество придает стали дополнительную прочность).

Алюминий характеризуется малым запасом прочности, как самостоятельный материал для создания велосипедных конструкций не используется, совмещается с медью, марганцем и другими составляющими. Главное преимущество алюминиевых рам – маленькая масса. Человеку гораздо проще забраться на горю или разогнать велосипед, увеличивается эффективность педалирования. К недостаткам следует отнести быструю поломку рамы, если на стальной конструкции изначально появляются трещины, то алюминиевая рама может сразу же сломаться. Однако это происходит лишь при экстремальных поездках, прыжках, велосипедисту-любителю опасаться нечего.

Титан. Если ориентироваться исключительно на технические характеристики конструкций, то титан является одним из лучших вариантов. Данный материал объединяет сильные стороны стали и алюминия, при этом отрицательных моментов практически нет. Однако денежная стоимость титановых рам значительно выше. Данный материал не используется в чистом виде. Для создания велосипедных конструкций используется сплав с кремнием и другими веществами. Главная особенность заключается в тяжести обработки титановых сплавов, применяются современные технологии, требующие дорогостоящего оборудования. Это отражается на итоговой денежной стоимости титановой рамы. Однако поддерживать скорость на таком байке труднее, в сравнении с рамами из стали, так как инерция на конструкциях из алюминиевых сплавов меньше.

Карбон является композиционным углеродным материалом. При изготовлении карбоновых велосипедных рам используются также полимерные смолы. Характеризуются высокой прочностью продольного типа, разорвать данный материал крайне затруднительно.

Однако карбон с легкостью разрушается из плоскости. Слои нитей направляются куда оказывается силовое воздействие. Главная функция смол в карбоновых велосипедных конструкциях – удерживать расположение углеродистых волокон, чтобы форма изделия оставалась прежней. От этого зависит прочность рамы и конечные свойства изделия.

К заданной раме, выполненной из разных материалов, был приложен ряд нагрузок (компьютерный эксперимент) и построены кривые оценки несущей способности рамы (рисунок 6). Данная рама при изготовлении из титанового сплава может выдержать очень большую нагрузку, масса изделия при этом в три раза меньше, чем у стали, но по стоимости будет намного дороже, поэтому нужно рассматривать и экономические составляющие изготовления изделия.

С помощью 3D-модели можно изучить работу механизма, определить опасные места сечения рамы, получить наглядное представление движения и проанализировать несущую способность для разных сценариев нагружения и разных материалов, компьютерный инженерный анализа и моделирование при принятии проектных решений позволяет найти оптимальное решение и удешевить изделие.

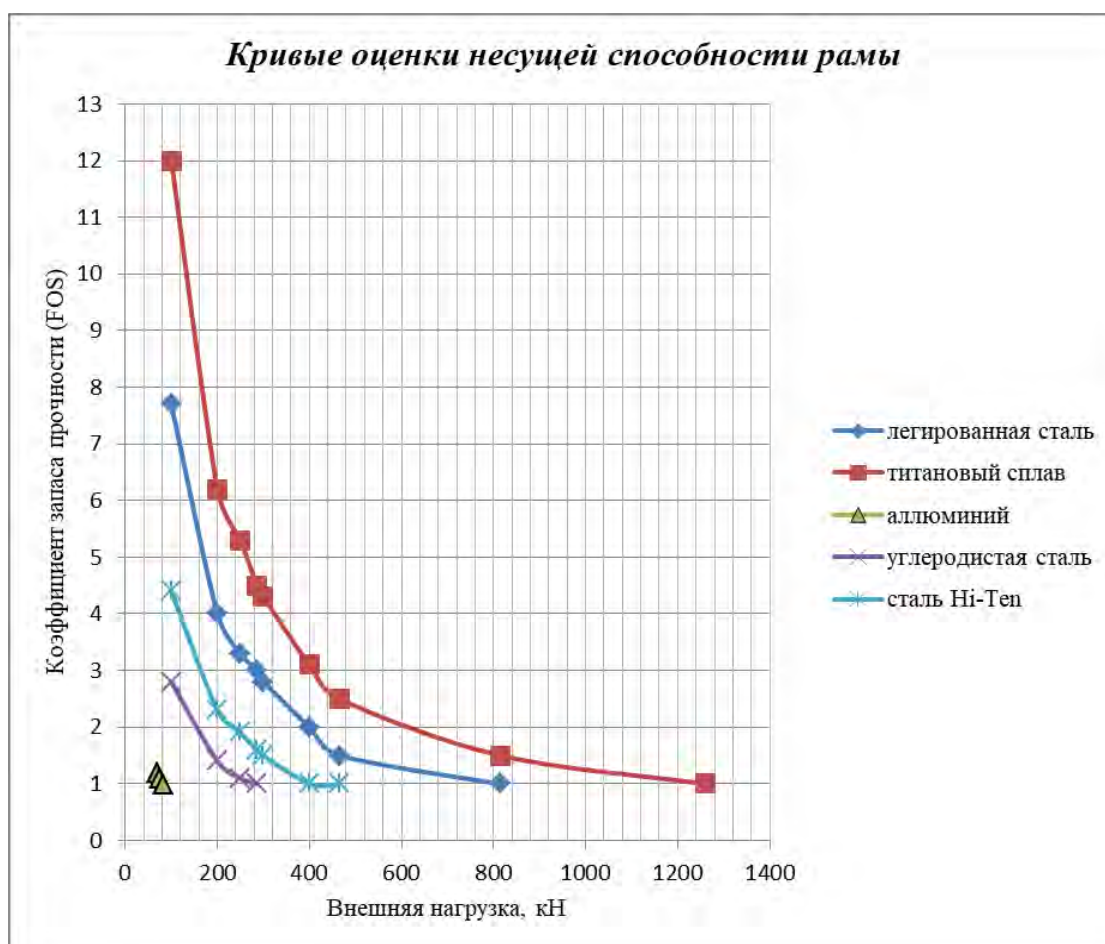


Рисунок 6 – Несущая способность рамы из разных материалов

Список цитированных источников

1. Лукинских, С. В. Компьютерное моделирование и инженерный анализ в конструкторско-технологической подготовке производства : учебное пособие / С. В. Лукинских ; М-во науки и высш. обр. РФ. – Екатеринбург : Изд-во Урал.ун-та, 2020. – 168 с.
2. Дударева, Н. Ю. SolidWorks 2009 для начинающих / Н. Ю. Дударева, С. А. Загайко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2009. – 440 с.
3. Зиновьев, Д. В. Основы моделирования в SolidWorks / Д. В. Зиновьев. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 240 с.

УДК 004.92

Полозок В. П., Ярмак М. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Мицирук О. М.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В AUTODESK 3DS MAX

Сегодня 3D-моделирование и визуализация проектов нашли свое применение в различных сферах деятельности. Поэтому к требованиям, предъявляемым к инженеру, добавились владение основами 3D-моделирования и визуализации в современных программных продуктах [1].

Визуализация проекта дает четкое представление о материалах, освещении и распределении отражений на поверхностях объекта, т. е. позволяет продемонстрировать не только конструкторское решение, но и дизайнерскую задумку. Таким образом можно продемонстрировать уже существующее или абстрактное техническое изделие, дизайн интерьера одного помещения или жилой комплекс целиком, создать анимационные ролики с трехмерными персонажами и т. д. [2].

Применение 3D-моделирования и компьютерной визуализации проекта позволяет значительно сократить время на визуализацию проекта, а также в будущем легко вносить изменения в проект.

История 3D-визуализации берет свое начало с 1962 года. Одной из наиболее распространенных систем, обладающей обширным гибким инструментарием для 3D-моделирования, анимации и визуализации, является графический редактор Autodesk 3ds Max. Данный продукт был создан компанией Autodesk в 1986 году под названием AutoFix [3]. С тех пор программа неоднократно перерабатывалась и выпускалась под новыми названиями, пока не получила современное название Autodesk 3ds Max.

Autodesk 3ds Max не позволяет производить расчеты инженерных конструкций и сетей, но дает возможность довольно быстро получить внешний вид проекта и наметить способы его создания. Высокая степень реалистичности проекта достигается при помощи передовых инструментов, которыми обладает программа [4].

В рамках своей научно-исследовательской работы мы участвовали в разработке дизайн-проекта лаборатории машиностроительного факультета.

На первой стадии выполнения нашего проекта мы изучили геометрию помещения, высоту потолка, оценили освещенность, проанализировали рациональность примененных материалов стен, полов и потолка.

Вторая стадия проекта включала в себя определение функционального назначения аудитории. Изучив планировку помещения и предполагаемое оснащение лаборатории (предъявляемые к ним требования по пожарной безопасности) и уже имеющиеся элементы (отопление, вентиляция, водоснабжение, электроснабжение, естественное освещение), которые не предполагают перемещения, было принято решение о перемещении входной двери.

Далее, с учетом эргономики, санитарных норм, охраны труда, пожарной безопасности и эстетики, на третьей стадии проекта разрабатывались различные планировочные варианты.

В связи с тем, что в лаборатории предполагалось разместить специальное оборудование (болоны с газом, отрезной станок, ванная, автоматический пресс для металлографических образцов, сушильный шкаф, шлифовально-полировальный станок и др.) отечественного производства, нам необходимо было создать 3D-модели этого оборудования. Для выполнения этой задачи нами использовался САПР Autodesk Inventor, который является также продуктом компании Autodesk и совместим с Autodesk 3ds Max (рисунки 1).

В Autodesk 3ds Max нами была создана полигональная модель помещения и импортированы в нее все созданные модели оборудования, а также элементы интерьера, найденные в интернет ресурсах.

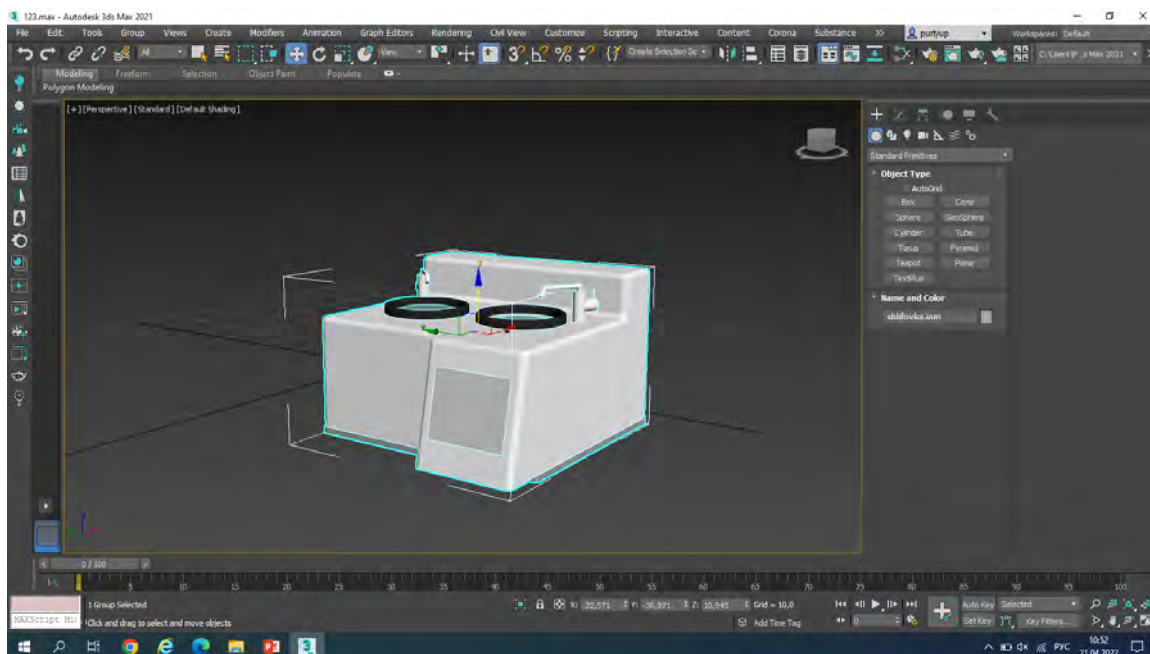


Рисунок 1 – Импортёрванная 3D-модель илифовальнo-полировальнoгo станка

В процессе визуализации одним из важных этапов является грамотный импорт геометрических моделей из программных комплексов автоматизированного проектирования в графическую систему для визуализации [5]. В процессе импорта необходимо учитывать корректность имени, базовые настройки и многое другое.

На последней стадии нами была выполнена подготовка рендеров, а именно: проведена работа с материалами и текстурами, выполнено размещение освещения и его настройка; установлены и настроены камеры. Процесс выполнения данной стадии не был безошибочным (рисунок 2), это показывает всю важность и сложность этой стадии [6].



Рисунок 2 – Фотореалистичное изображение лаборатории машиностроительного факультета с неверными настройками

Полученные нами фотореалистичные изображения лаборатории (рисунок 3) позволяют оценить дизайн-проект и могут быть использованы при ремонте данной аудитории, в рекламных и профориентационных целях.



Рисунок 3 – Фотореалистичные изображения лаборатории машиностроительного факультета

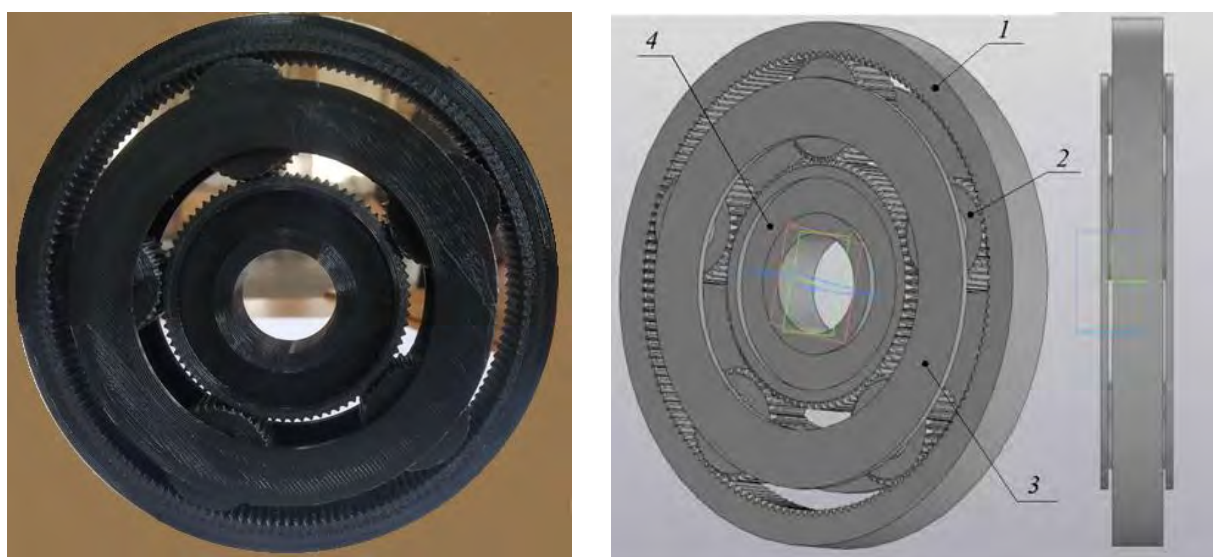
Список цитированных источников

1. Акулова, О. А. Применение компьютерной фотореалистичной визуализации в инженерных проектах / О. А. Акулова, С. Н. Бурый, В. В. Короленко // Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Новосибирск, 23 апр. 2021 г., / Новосиб. гос. архитектурно-строит. ун-т ; отв. ред. К. А. Вольхин. – Новосибирск, 2021. – 1 Электронный опт. диск (CD-ROM).
2. Klona [Электронный ресурс] / Сферы применения 3D-визуализации. – Режим доступа: <https://klona.ua/blog/3d-modelirovanie/sfery-primeneniya-3d-vizualizacii>. – Дата обращения 21.03.2022.
3. 3D-моделирование в 3ds Max [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kpfu.ru/portal/docs/F_2107270697/3ds.Max.pdf. – Дата обращения 21.03.2022.
4. Online-uroki.ru [Электронный ресурс] // Autodesk 3ds max уроки Режим доступа: <https://online-uroki.ru/uroki/autodesk-3ds-max-uroki.html>. – Дата обращения 21.03.2022).
5. Ложкина, Е. А. Проектирование в среде 3ds Max : учеб. пособие / Е. А. Ложкина, В. С. Ложкин. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019. – 180 с.
6. School Gripinsky : YouTube-канал. – [Электронный ресурс] // YouTube : сайт. Режим доступа: <https://www.youtube.com/user/gripinsky>. – Дата обращения: 20.04.2022.

МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ПРОТИПИРОВАНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ В ПК SOLIDWORKS

Инженерный компьютерный анализ в процессе создания нового изделия позволяет спрогнозировать поведение системы и с минимальными затратами времени сопоставить ряд различных альтернативных конструкторских решений. В результате снижается объем экспериментальной отработки и доводки изделия, повышается его качество, а сам процесс проектирования ускоряется и удешевляется [1]. Ускоренными темпами внедряются системы автоматизированного проектирования, которые позволяют выполнять трехмерное моделирование будущей продукции и ее отдельных узлов, производить инженерные расчеты на прочность и жесткость проектируемых изделий и выполнять оптимизацию полученных результатов с учетом выбранных материалов и конструкции, а также иметь в распоряжении наглядные полноразмерные компьютерные модели.

Объект исследования: твердотельная параметрическая модель механической системы «Планетарная передача (ПП) – механическая передача вращательного движения, за счет своей конструкции способна в пределах одной геометрической оси вращения изменять, складывать и раскладывать подводимые угловые скорости и/или крутящий момент» [1]. ПП состоит из пяти компонентов: эпицикл, водило и пяти сателлитов, смоделирован механизм в программе «КОМПАС-3D» с помощью стандартного приложения «Валы и механические передачи 3D». Детали модели напечатаны на 3D-принтере и собраны в рабочий прототип механической системы (рисунок 1).



1 – эпицикл; 2 – сателлиты; 3 – водило; 4 – солнечное колесо

Рисунок 1 – Сборочная модель планетарной передачи

Возможность импорта созданных компонентов из «КОМПАС-3D» в Autodesk Inventor позволяет выполнить анимацию в этой среде (рисунок 2), для этого нужно сохранить все файлы сборки в формате «IGES», который имеется в обеих средах для «экспорта-импорта» файлов. Но взаимодействие между деталями не переносится, для всех деталей задаются необходимые условия сопряжения и проверяется работоспособность механизма – вращая один элемент, все твердые тела должны приходить в зацепление и передавать крутящий момент.

Статический анализ выполнялся в программном комплексе SolidWorks, который имеет интегрированный модуль Simulation. Для «экспорта-импорта» также использовался формат «IGES» и собираем механическую систему, соблюдая все правила условий сопряжения сборки, а для механического зацепления зубьев использовалась функция «Редуктор».

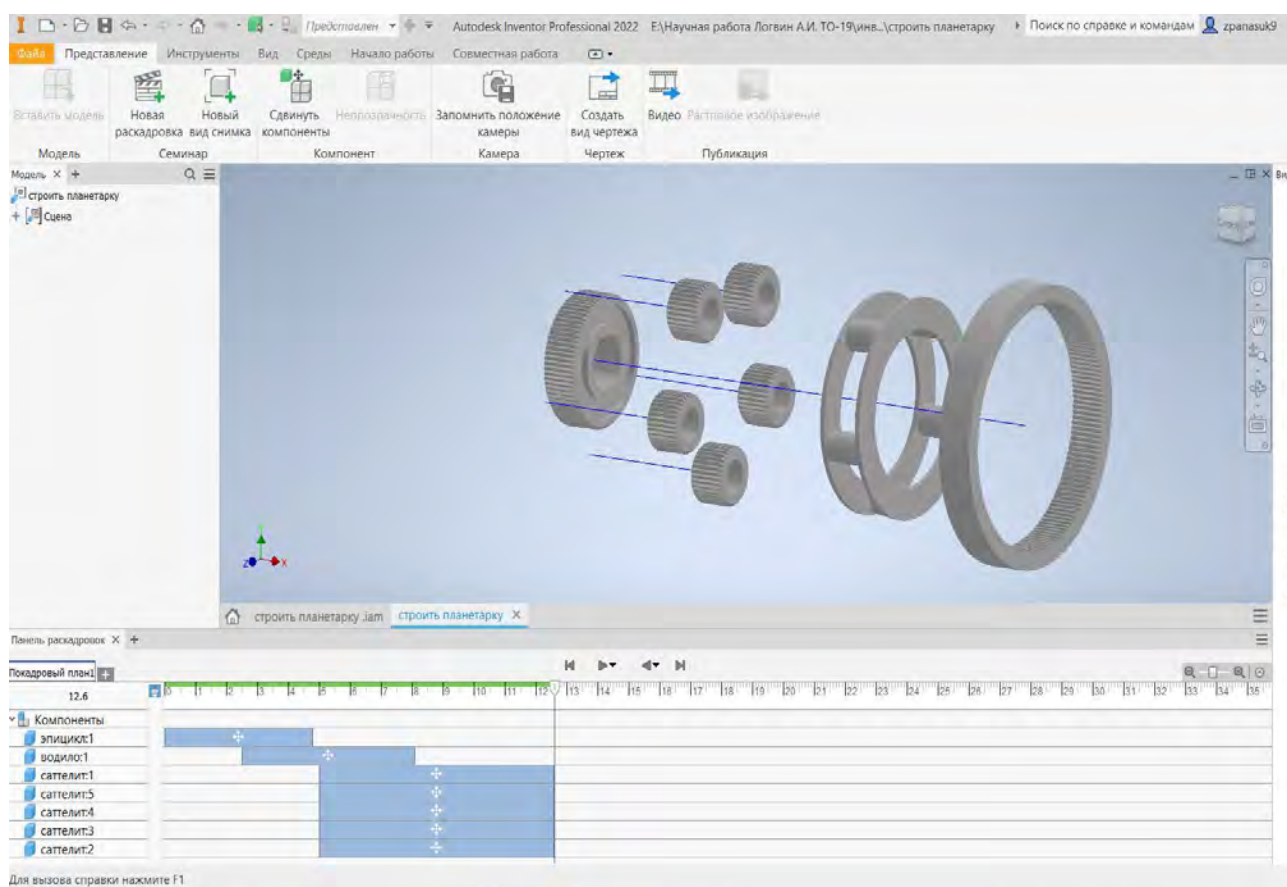


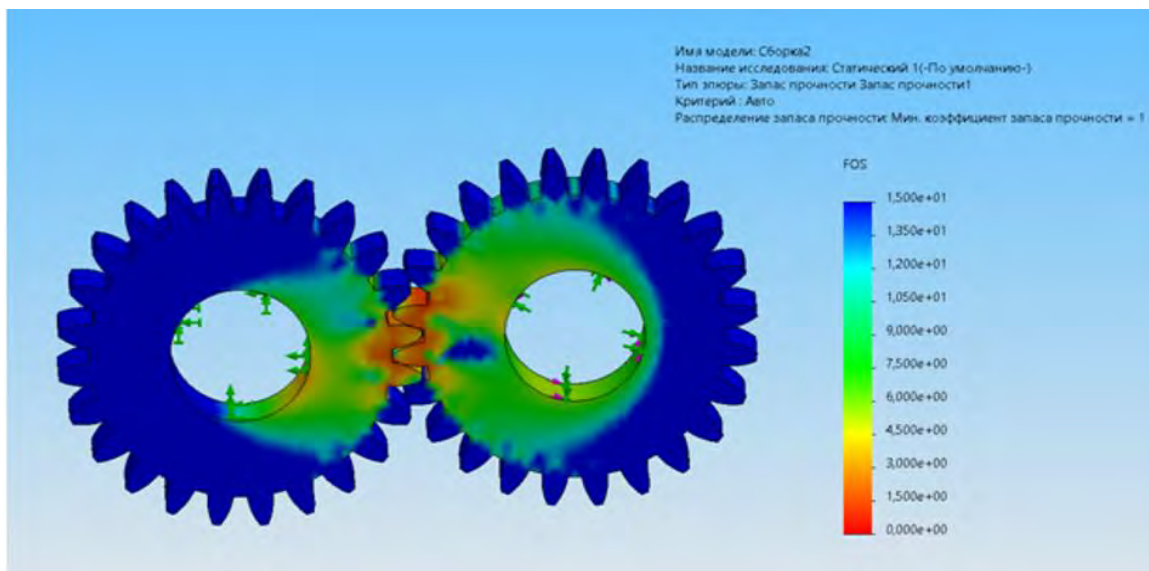
Рисунок 2 – Создание анимации в Autodesk Inventor

Под термином статический анализ понимается совокупность исследований, предназначенных для проверки работоспособности, определенных эксплуатационных характеристик проектируемых изделий. Современные системы инженерного анализа (или системы автоматизации инженерных расчетов) — CAE (англ. computer-aided engineering) обеспечивают решение задач линейного и нелинейного статического анализа, анализа частоты, устойчивости, температурного анализа, усталости, испытаний на ударную нагрузку, линейного и нелинейного динамического анализа, анализа оптимизации и др [1].

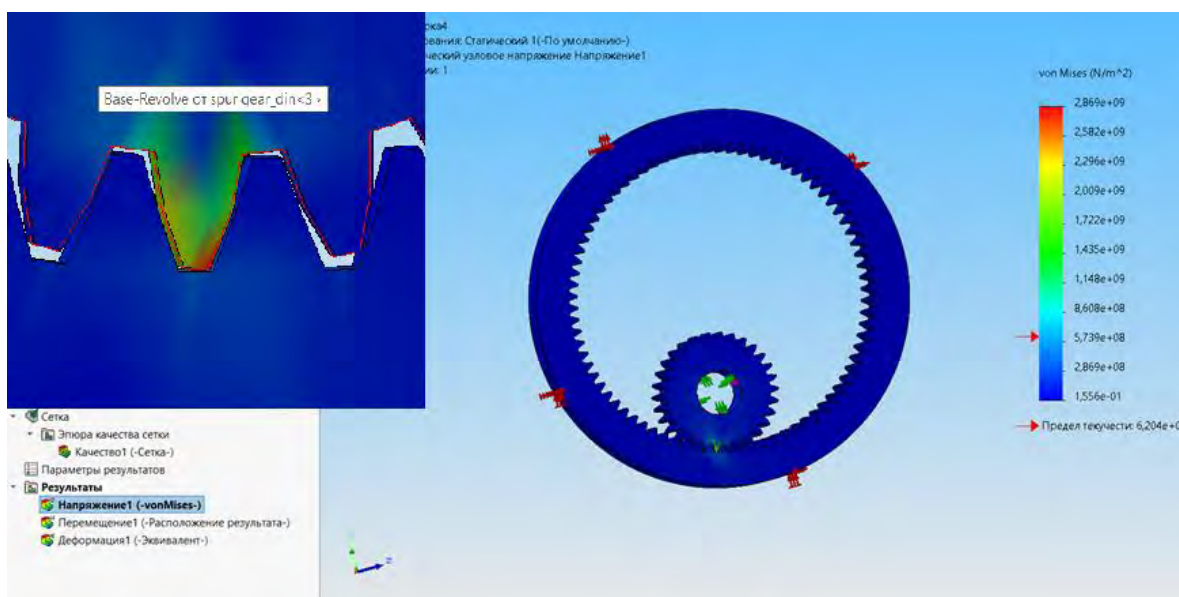
Для деталей применялся материал «легированная сталь», для расчета необходимо зафиксировать одну шестерню, к другой шестерне применялось креп-

ление «зафиксированный шарнир», для того чтобы она, вращаясь, испытывала сопротивление от зафиксированной шестеренки. Внешняя нагрузка на подвижную шестерню передавалась в виде вращающего момента. Применялась сетка высокой точности и с улучшением ее в месте зацепления зубьев, чтобы получить максимально точные результаты исследования. Результаты напряженно-деформированного состояния зубчатого зацепления представлены на рисунке 3.

а)



б)



а) – зацепление «шестерня» – «шестерня», б) – зацепление «эпицикл» – «шестерня»
Рисунок 3 – Статический расчет в SolidWorks Simulation

Для привлечения средств и единомышленников по этой тематике была создана интернет-страница <https://lksjlogvin.wixsite.com/my-site> и видеопрезентация <https://www.youtube.com/watch?v=wOeez4yGWso>, которые представлены на рисунке 4.

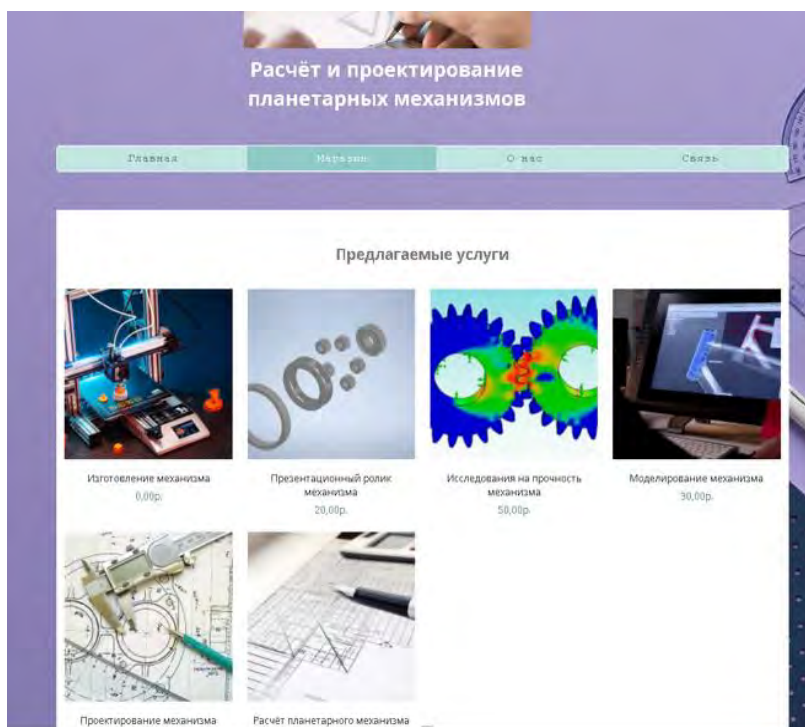


Рисунок 4 – Материалы интернет платформы

Для данной модели напечатан прототип механизма, процесс представлен на рисунке 5. Возможность прототипирования изделия и 3D-печати обретает все большую популярность и проникает во многие сферы жизнедеятельности человека. С помощью специальных принтеров она позволяет быстро и точно создать образец любого объекта.

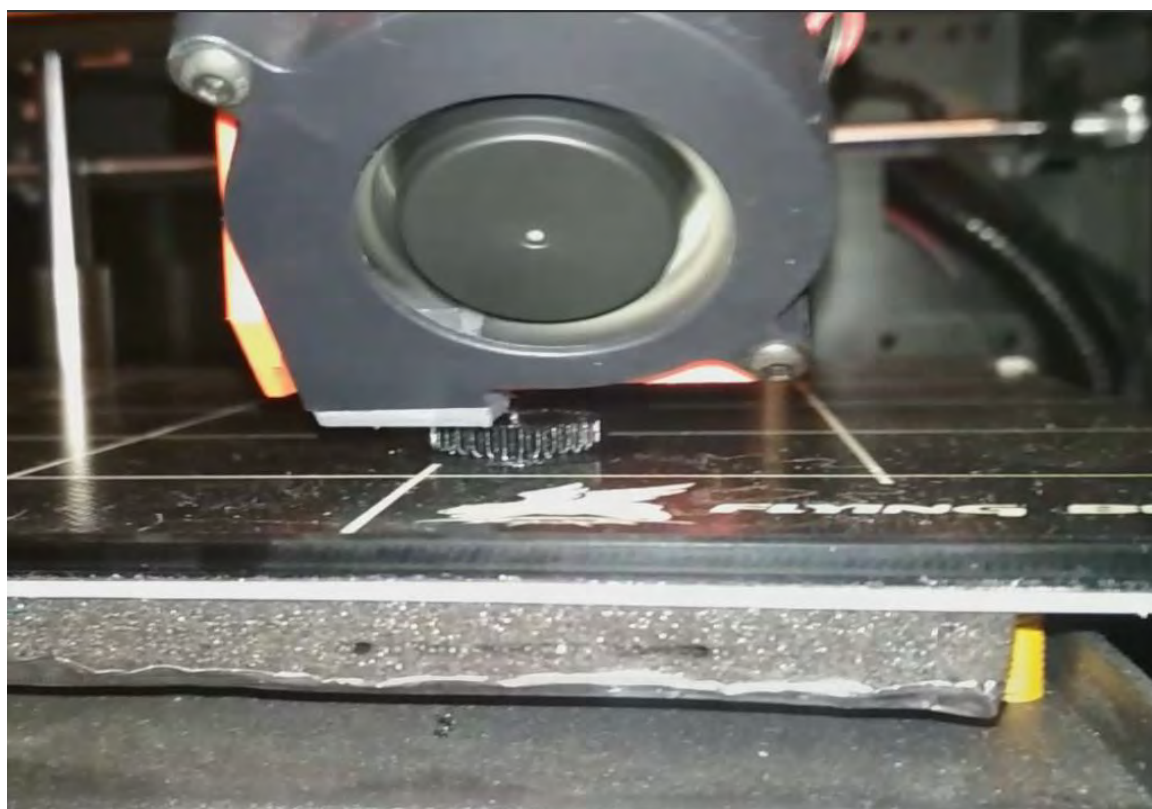


Рисунок 5 – Процесс 3D-печати детали «Сателлит»

Ее преимущества перед механической обработкой – отсутствие отходов производства и значительная экономия материала. Технология стала незаменимой в промышленности, медицине, строительстве и других областях.

Для выполнения поставленных задач изучены программные комплексы «КОМПАС-3D», SolidWorks, Autodesk Inventor. Построена параметрическая 3D-модель планетарного механизма, выполнена анимация движения механизма и проведены статические расчёты зубчатого зацепления двух шестерней, эпцикла и сателлита. Получено напряжённно-деформированное состояние зубчатого зацепления элементов планетарной передачи. При этом полученные значения не превысили максимально допустимых.

Список цитированных источников

1. Лукинских, С. В. Компьютерное моделирование и инженерный анализ в конструкторско-технологической подготовке производства : учебное пособие / С. В. Лукинских ; М-во науки и высш. обр. РФ. — Екатеринбург : Изд-во Урал.ун-та, 2020. — 168 с.
2. Кокорев, И. А. Курс деталей машин: учеб. пособие / И.А. Кокорев, В. Н. Горелов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. – 287 с.
3. Дударева, Н. Ю. SolidWorks 2009 для начинающих / Н. Ю. Дударева, С. А. Загайко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2009. – 440 с.
4. Алямовский, А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – Москва: ДМК Пресс, 2019. – 463 с.

УДК 514.18(0.75.8)

Трайгель Д. А., Новицкая А. В.

Научные руководители: к. т. н., доцент Уласевич В. П.;

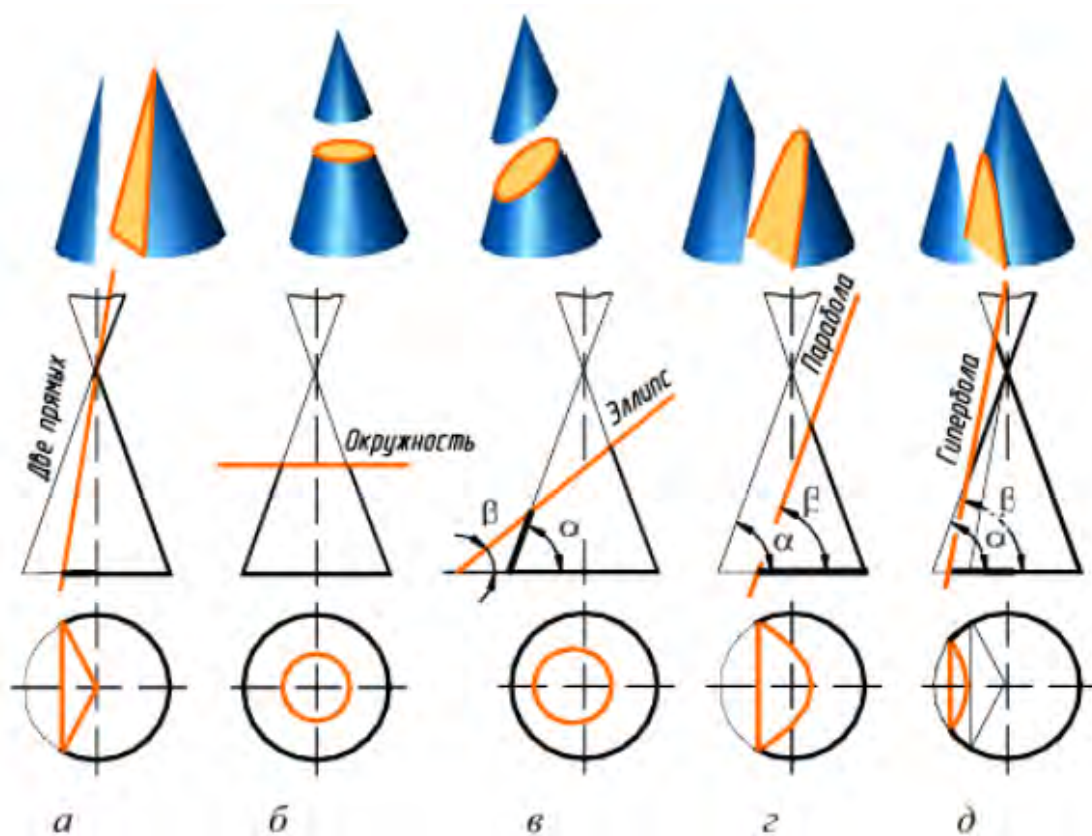
к. т. н., доцент Уласевич З. Н.

КОНИЧЕСКИЕ СЕЧЕНИЯ ПРЯМОГО КРУГОВОГО КОНУСА В НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ И ИХ СВЯЗЬ С АЛГЕБРАИЧЕСКИМИ УРАВНЕНИЯМИ 2-ГО ПОРЯДКА В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ

Постановка задачи

Цель исследований: изучить конические сечения. **Задачи:** научиться различать виды конических сечений и применять аналитический подход.

Замкнутая коническая поверхность может быть образована движением прямолинейной образующей по замкнутой криволинейной направляющей при некоторой неподвижной точке, называемой вершиной. На чертеже коническая поверхность задана, если заданы направляющая и вершина. Если коническая поверхность ограничена плоскостью, то образованное геометрическое тело называют *конусом*. Если в основании конуса лежит круг, а его вершина лежит на перпендикуляре, восстановленном из центра круга как основания конуса, то такой конус называют *прямым круговым конусом*.



а) – две прямые; б) – окружность; в) – эллипс; г) – парабола; д) – гипербола

Рисунок 1 – Линии сечений прямого кругового конуса

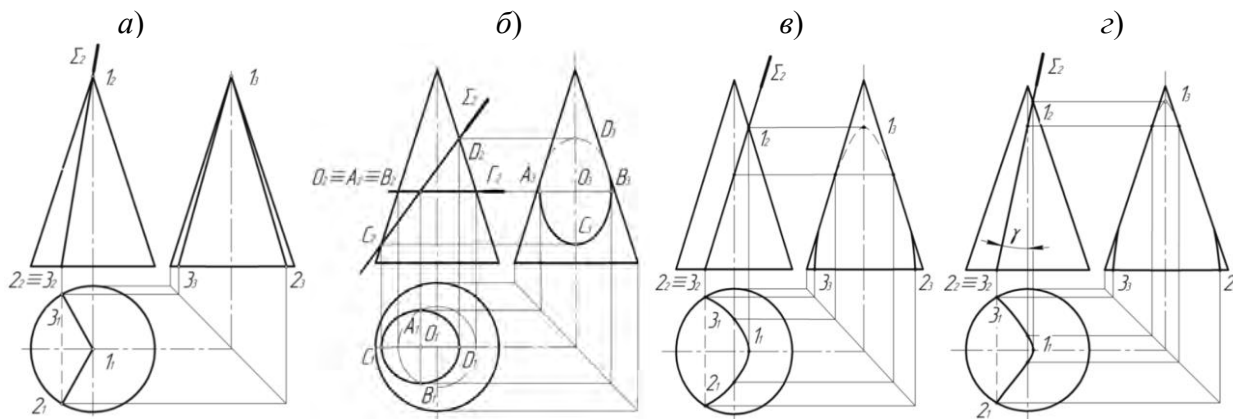
Конические сечения впервые исследовал древнегреческий геометр Менехм, живший в IV веке до нашей эры. Трактаты Менехма о конических сечениях, описанные Евклидом в конце IV в. до н. э., были утеряны, но материалы о них описал древнегреческий математик Аполлоний Пергский (III в. до н. э.) в своей работе «Конические сечения», благодаря которым трактаты Менехма вместе с собственными исследованиями Аполлония Пергского сохранились. Аполлоний Пергский, варьируя угол наклона секущей плоскости к оси кругового конуса или его образующим, получил все конические линии сечений, три кривые из которых были названы им как эллипс, парабола и гипербола, а также были даны им и определения этих кривых (рисунок 1).

Со времен Аполлония Пергского конические сечения делятся на три типа в зависимости от наклона секущей плоскости к образующей конуса: **эллипс**; **парабола**; **гипербола**. **Эллипс** образуется, когда секущая плоскость пересекает все образующие конуса в одной его ветви; **парабола** – когда секущая плоскость параллельна одной из образующих конуса; **гипербола** – когда секущая плоскость параллельна двум образующим и пересекает обе полости конуса. В своих построениях Аполлоний Пергский использовал двуполостной круговой конус, поэтому им впервые было установлено, что **гипербола** – кривая с двумя ветвями (рисунок 1).

Линии пересечения конуса плоскостью

В основу графической подготовки студентов в технических вузах положена дисциплина «Инженерная графика», теоретическую основу которой составляет изучаемая на первом курсе дисциплина «Начертательная геометрия». Заметим, что предшественников и аналогов в технических вузах она не имеет, а поэтому

при изучении ее разделов приходится делать упор на знания, полученные студентами в школе по дисциплинам «Алгебра», «Геометрия Евклида», «Черчение». А между тем указанные школьные дисциплины имеют между собой с исторических времен теснейшую взаимосвязь. Примеры построения линий сечения прямого кругового конуса плоскостью методом плоскостей-посредников частного положения начертательной геометрии представлены на рисунке 2.



а) – две прямые; б) – эллипс; в) – парабола; г) – гипербола

Рисунок 2 – Построения линий сечения прямого конуса плоскостью

Анализируя вышесказанное, а также построения, представленные на рисунке 2, можно дать следующие определения сечений кругового конуса плоскостью:

– если секущая плоскость проходит через вершину по двум образующим, то в сечении получают две прямые, образующие треугольник (рисунке 2а);

– если секущая плоскость пересекает образующие перпендикулярно оси конуса, то в сечении получается окружность (рисунок 2б);

– если секущая плоскость не проходит через вершину конуса, но пересекает его поверхность параллельно одной из образующих, то в сечении получается парабола (рисунок 2в);

– если секущая плоскость не проходит через вершину конуса, но пересекает его поверхность параллельно двум образующим, то в сечении получается гипербола (рисунок 2г).

Сечения конуса в уравнениях аналитической геометрии

Покажем при анализе общего алгебраического уравнения, изучаемого студентами в курсе «Аналитическая геометрия», вида

$$Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F = 0, \quad (1)$$

где не все коэффициенты A, B, D, E равны нулю, что кривые линии, полученные в сечениях прямого конуса плоскостью, не проходящей через его вершину, есть кривые второго порядка, аналогичные построенным методом плоскостей-посредников частного положения начертательной геометрии (риунок 2).

Графические образы (ГО) кривых, описанных уравнением (1), но содержащих член $Cxy \neq 0$, свидетельствует о необходимости их преобразования путем поворота и смещения относительно выбранной системы координат. Учитывая сказанное, связь уравнений конических сечений, получаемых при пересечении конуса плоскостью из уравнения (1), рассмотрим при $Cxy = 0$. Тогда уравнение (1) имеет вид:

$$Ax^2 + By^2 + Dx + Ey + F = 0. \quad (2)$$

В этом случае, соответствие между кривыми 2-го порядка, получаемыми из уравнения (2) при различных значениях его коэффициентов, и кривыми, получаемыми при пересечении конуса плоскостью (рисунок 1 и рисунок 2), может быть определено в результате решения уравнения (2) следующим образом:

- если коэффициенты A и B не равны ($A \neq B$) но имеют одинаковые знаки, то уравнение (2) будет описывать эллипс;
- если коэффициенты A и B равны ($A = B$), то уравнение (2) будет описывать окружность;
- если коэффициенты A и B не равны ($A \neq B$) и имеют разные знаки, то уравнение (2) позволит описывать гиперболу;
- если один из коэффициентов A или B равен нулю ($A = 0$ или $B = 0$), т. е. отсутствует слагаемое, содержащее квадрат переменной x или y , то в этом случае такое уравнение позволит описывать параболу.

Заметим, что кривые, полученные из уравнения (2), имеют смещенные оси симметрии, а следовательно, и центр симметрии и координаты вершин.

Согласно [1, 2, 3, 4, 5], курс «Начертательная геометрия» изучает формы, свойства геометрических образов (ГО) и отображения одного ГО в другой. За преобразованиями ГО конических сечений в виде сжатия, движения, перемещения, имеющими место на практике, подтвержденными взаимосвязанными с ними преобразованиями уравнения аналитической геометрии (2), легко увидеть применение таких преобразований в технологической и конструкторской подготовке инженера. Это указывает на то, что начертательная геометрия достойно занимает отведенную ей роль и место в общетеоретической подготовке инженера.

В таблице 1 показаны характерные особенности ГО конических сечений в начертательной геометрии и их математическая связь с алгебраическими уравнениями аналитической геометрии.

Таблица 1 – Математическое представление конических сечений

№ п/п	Название конического сечения в начертательной геометрии	Кривые 2-го порядка в аналитической геометрии	
		Общее алгебраическое уравнение второго порядка	Алгебраические уравнения конических сечений
1	Окружность	$Ax^2 + By^2 + Dx + Ey + F = 0,$ (2), где A, B, C, D, E – заданные	$\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{r^2} = 1,$ где r – радиус окружности
2	Эллипс	пять точек, не лежащих на одной прямой, как управляемые параметры; $F_{1,2,\dots,n}$ – искомые точки, определяемые путём решения данного уравнения, принадлежащие искомому сечению.	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$ где a и b – большая и малая полуоси эллипса
3	Гипербола		$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1,$ где a и b – действительная и мнимая полуоси гиперболы
4	Парабола		$y^2 = 2p \cdot x,$ p – параметр, определяющий положение параболы в системе координат

Основополагающей в этой взаимоувязанной системе геометрий является проективная геометрия, которая определяет научные направления графо-геометрических дисциплин, где рассматриваются не только вопросы о классификации и свойствах ГО, но и в целом суть геометрии как научной дисциплины. При этом начертательная геометрия, являясь своеобразной главой проективной геометрии со своими характерными отличительными особенностями, формирует, безусловно, некоторую связь между геометрией Евклида, геометрией Лобачевского и аналитической геометрией.

Поскольку геометрия как наука имеет свою историю и место, целесообразно проанализировать и сформулировать системный подход в управлении методикой обучения положениями начертательной геометрии в целях обеспечения качества обучения графическим дисциплинам. Важно при этом не терять, а развивать в нужном направлении связь между геометрией Евклида и основными разделами начертательной геометрии с учетом дальнейшего обучения графическим дисциплинам для каждой конкретной технической специальности.

Определяя основные направления рассматриваемых вопросов, хотелось бы, с одной стороны, выделить проблему какого-либо направления Евклидовой и проективной геометрии, не утратив значимость конкретных разделов начертательной геометрии [1, 2, 3, 4, 5]. А с другой, разрабатывая более доступно и понятно обобщённые подходы и методики, предоставлять обучаемым студентам разделы начертательной геометрии, не теряя связи от простого к сложному, от известного к постигаемому неизвестному.

Здесь уместно обратить внимание на еще одно направление в использовании кривых 2-го порядка конических сечений – разработку методов построения алгоритмов компьютерной параметризации для построения геометрических образов 3D-моделей при решении задач так называемой конструктивной геометрии [4, 5]. В этой связи возникает необходимость и потребность включения таких методов в учебный процесс геометро-графической подготовки студентов.

Применение

Конические сечения часто встречаются в природе и технике. Орбиты планет, обращающихся вокруг Солнца, имеют форму эллипсов. Окружность представляет собой частный случай эллипса, у которого большая ось равна малой. Параболическое зеркало обладает тем свойством, что все падающие лучи, параллельные его оси, сходятся в одной точке (фокусе). Это используется в антеннах радаров и специальных микрофонах с параболическими отражателями. От источника света, помещенного в фокусе параболического отражателя, исходит пучок параллельных лучей, поэтому в прожекторах и автомобильных фарах используются параболические зеркала. Гипербола является графиком многих важных физических соотношений, например, закона Ома, задающего электрический ток как функцию сопротивления при постоянном напряжении, конические дробилки в горно-добывающих отраслях, конические сверла и др.

Заключение

Анализируя вышесказанное, можно заключить, что раздел начертательной геометрии «Конические сечения» имеет право на своё глубокое изучение в увязке с соответствующими разделами аналитической геометрии, так как такой подход внутри себя не только не содержит противоречий, но будет способство-

вать более осознанному изучению вышеназванных дисциплин в зависимости от поставленных целей при их *изучении*. В этом случае дисциплина «Начертательная геометрия» будет по-прежнему иметь свою практическую ценность, если её методики будут совершенствоваться, впитывая в себя в необходимой мере через контакты с проективной геометрией те познания, которые будут способствовать освоению современных компьютерных технологий с использованием аппарата математического моделирования объектов строительства и машиностроения.

Таким образом, с точки зрения оценки достаточности графической подготовки студента курс «Начертательная геометрия» является одной из основных дисциплин, обеспечивающей изучение проблем геометрического и графического моделирования конкретных инженерных задач. А способы их математического обеспечения с использованием законов алгебры и матричного аппарата изучает *аналитическая геометрия*. Поэтому в графической подготовке студента важная роль должна быть отведена теме начертательной геометрии «Конические сечения», которая будет способствовать более осознанному изучению курса «Инженерная графика», на знаниях стандартов «Единой системы конструкторской документации» (ЕСКД) и «Система проектной документации для строительства (СПДС).

Список цитированных источников

1. Фролов, С. А. Начертательная геометрия / С. А. Фролов. – М. : Машино-строение, 1983. – 240 с.
2. Уласевич, З. Н. Начертательная геометрия / З. Н. Уласевич, В. П. Уласевич, О. А. Якубовская. – Минск : Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі, 2009. – 197 с.
3. Уласевич, З. Н. Инженерная графика. Практикум / З. Н. Уласевич, В. П. Уласевич, Д. В. Омесь. – Минск : Вышэйшая школа, 2020. – 207 с.
4. Хейфец, А. Л. Алгоритмы моделирования коник в пакете AutoCAD / А. Л. Хейфец // Совершенствование подготовки учащихся и студентов в области графики, конструирования и стандартизации: межвуз. науч.-метод. сб. – Саратов: СГТУ, 2013. – С. 34–39.
5. Уласевич, З. Н. Тема «Конические сечения» в методике преподавания графических дисциплин / З. Н. Уласевич, В. П. Уласевич // Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы: сборник трудов Междунар. научно-практич. конференции, 21 апреля 2017 г. / М-во образования РБ, Брест. гос. техн. ун-т; РФ, Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин), отв. ред. К. А. Вольхин. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2017. – С. 250–255.

УДК 004.5+528.9

Лисицкая А. А., Горбачук Е. В.

Научные руководители: к. т. н., доцент Акулова О. А.; м. т. н. Розумец И. Н.

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА: ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА РЕК И ОЗЕР БЕЛАРУСИ

Два десятка лет назад эру бумажных карт и атласов сменили электронные интерактивные карты. Наиболее известный в мире картографический портал Yahoo! Maps, в СНГ – Яндекс.Карты. Такие порталы позволяют находить любые объекты в считанные секунды. Конечно, дело не только в скорости и про-

стоте использования. В электронных картах реализован интерактивный просмотр, то есть они реагируют на действия пользователя. Интерактивные карты базируются на уникальной технологии геоинформационных систем (ГИС). Область ГИС весьма перспективна и востребована. Далеко не все страны и города на интерактивных картах представлены достаточно подробно. Часто информация не соответствует реальности.

Поначалу интерактивные карты отображали чисто картографическую информацию. Они описывали некоторую область земной поверхности и выполняли роль поверхностного географического справочника. Теперь же электронные карты имеют интерфейс для доступа к источникам данных.

Чтобы перейти к описанию интерактивной карты, необходимо рассмотреть понятие интерактивности. Термин «интерактивность» происходит от английского слова *interaction*, которое в переводе означает «взаимодействие». В Интернете одним из участников взаимодействия является человек (пользователь) [1].

На данный момент технологии электронных карт позволяют включить элемент интерактивности. Существует несколько крупных геопорталов, предоставляющих информацию о различных территориях по всему миру. По большей части информация является общей, а карты обзорными. Если пользователю необходима более подробная информация о том или ином объекте, ему приходится продолжать поиск на каких-то других информационных порталах. В интерактивных картах можно рассматривать более мелкие участки территории, но с углубленным подходом к информационной составляющей. Такой подход дает возможность пользователю получить все интересующие его данные на месте, без дальнейших поисков.

Также интерактивная карта позволяет выводить информацию по мере надобности. В отличие от простых статических карт, у каждого условного знака на интерактивной карте есть не только его обычная информационная составляющая, но и скрытая, выводящаяся по мере надобности. Такой подход позволяет не перегружать карту условными знаками и маркерами, делает ее более понятной и простой в использовании.

Как правило, интерактивные карты генерируются и хранятся на сервере. Они интегрированы с базами данных по наземным объектам различных видов и доступны легкой навигации в различных масштабах и сквозному текстовому поиску по названиям объектов. Во-первых, интерактивные карты помогут сориентироваться относительно географического положения того или иного района, его климатических условий, часовых поясов и многого другого. Во-вторых, интерактивные карты эффектно и наглядно отображают аналитическую, статистическую и иную информацию.

Техническая реализация интерактивной карты производится с помощью различных языков программирования. Одним из самых доступных и удобных языков является язык PHP.

PHP – скриптовый язык программирования общего назначения, интенсивно применяемый для разработки Web-приложений. В настоящее время поддерживается подавляющим большинством хостинг-провайдеров и является одним из

лидеров среди языков программирования, применяющихся для создания динамических Web-сайтов.

Однако существуют программы, в которых реализован механизм создания электронной интерактивной карты. Наиболее широко известна ArcGIS, мировой лидер среди платформ для построения и использования геоинформационных систем (ГИС).

ArcGIS– система, которая позволяет собирать, организовывать, управлять, анализировать, обмениваться и распределять географическую информацию.

ArcGIS позволяет вам создавать большое количество карт, включая карты, доступные в веб-браузерах и на мобильных устройствах, крупноформатные печатные карты, карты в отчетах и презентациях, атласы, сборники, карты, используемые в приложениях и т. д. Вне зависимости от способа издания, карта ArcGIS является интерактивной картой, которая отображает, объединяет и синтезирует значительные слои географической и описательной информации из различных источников.

Ваша картаначинается с хорошей базовой карты. Программа содержит великолепный набор встроенных базовых карт, включающих в себя карты топографии, изображений, улиц, карты рельефа, океанов и многое другое. Доступны другие специализированные базовые карты, например, гидрология, землепользование и геология. Вы также можете создавать свои собственные базовые карты. Например, городская администрация может создать стандартизованную базовую карту, на которой будут отмечены земельные участки и инфраструктура. После выбора базовой карты вы можете добавлять различные слои рабочих данных, выбирать символы, наносить надписи и определять масштабы карты, а также настраивать всплывающие окна, которые представляют ключевые атрибуты объектов карт. Вы можете настраивать дополнительные инструменты, основанные на целевом назначении карты, например инструменты редактирования, доступ к аналитическим моделям, ползунки времени и т. д. Шаблоны карт упрощают создание и производство карты. После того, как вы создали карту ГИС, любой пользователь, с которым вы обмениваетесь ею, может получить доступ и использовать карту в работе.

ArcGIS позволяет работать с несколькими источниками данных сразу, в том числе с информацией из географических баз данных, табличных данных из систем управления базами данных (СУБД) и других систем предприятия, файлов, электронных таблиц, фотографий и видео с географическими метками, KML, CAD данных, данных реального времени с датчиков, аэрокосмических и спутниковых изображений и т. д.

База данных (БД) – совокупность данных, отражающая состояние объектов и их отношений в рассматриваемой предметной области [2].

Целью нашей работы было создание интерактивной карты рек и озер Республики Беларусь на основе создания собственной базы данных.

В нашей работе мы создавали базу данных фактически с нуля. Использовалась система управления баз данных Microsoft Access. На данный момент база данных насчитывает 1645 пунктов. И это не предел. Планируется постоянное пополнение согласно найденным данным (рисунок 1).

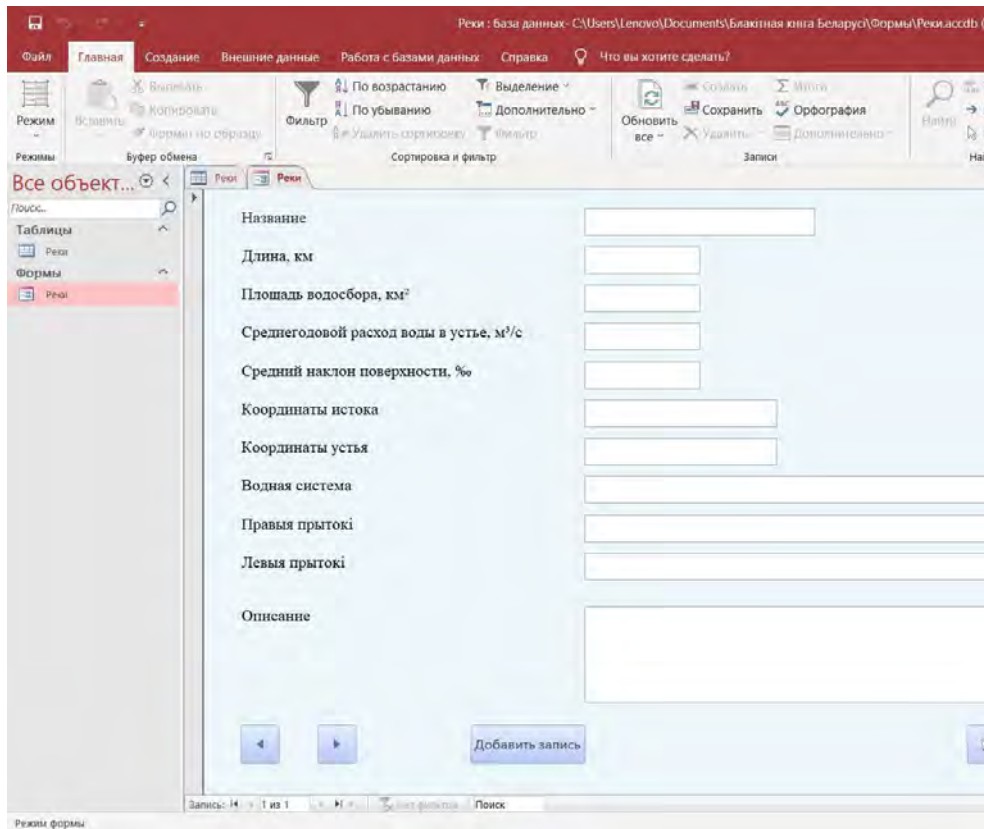


Рисунок 1 – Форма базы данных в Microsoft Access

Также база данных экспортировалась в Microsoft Excel для упрощенной корректировки и облегченного чтения (рисунок 2).

После создания базы данных в ArcMap загрузили базовую карту OpenStreetMap. После чего построили на нужной нам области полигон и добавили для него атрибуты с помощью языка программирования. При нажатии в любой точке полигона (реки, озера) открывается информационное всплывающее окно. В нем представлено фото объекта, его характеристики и краткое описание (рисунок 3).

На данном этапе работы функционал ограничен. В дальнейшем будет добавлен поиск между объектами, возможность выбрать и сравнить объекты по характеристикам, фильтр характеристик, полное описание объекта.

Название	Длина, км	Площадь водосбора, км ²	Среднегодовой расход воды в устье, м ³ /с	Средний наклон поверхности, ‰	Координаты истока	Координаты устья	Водная система	Правая притоки	Левая притоки	
Абабца	4				55°44'34"с.ш. 27°14'06"в.д.	55°43'15"с.ш. 27°12'25"в.д.	Друйка - Заходняя Дзвіна - Балтыйскае мора			Абабца – Выцянка – У басейне Абалінка на поўдні – на мяж двухбако водатрыб
Абальянка	89	809	5	0,9	54°34'01" с. ш. 29°48'03" в. д.	54°55'18,60" пн. ш. 30°12'04" у. д.	Лучоса - Заходняя Дзвіна - Балтыйскае мора	Нерайшанка, Чудзінка, Тонкая Луча.	Субота, Камянчанка.	
Абедэўка	30	130			52°21'14,47" пн. ш. 29°31'13,3" у. д.	52°15'03,17" пн. ш. 29°14'05,58" у. д.	Канавя Ненач - Ненач - Прыпяць - Дняпро - Чорнае мора			Абедэўка
Абрамаўшчына	9				53°31'31"пн.ш. 24°40'05"у.д.	53°28'20" пн. ш. 24°36'33" у. д.	Ельня - Нёман - Балтыйскае мора			Абрамаўц паўднёвы працягу 4, Абрачоўка
Абручоўка	10,4				55°04'29,96" пн. ш. 30°05'19,39" у. д.	55°01'45,79" пн. ш. 30°12'31,13" у. д.	Лучоса - Заходняя Дзвіна - Балтыйскае мора			Пачынаец мясцовас Абчўга (Пі басейн Д Пачынаец Авуга – р Падавуга Даўна тры 8—10 м у
Абчуга	14	64		1,1	54°34'21,39" пн. ш. 29°28'16,13" у. д.	54°29'28,7" пн. ш. 29°12'22,8" у. д.	Бобр - Бярэзіна - Дняпро - Чорнае мора			
Авуга	47	461	3,6	1,5	55°14'28,35" пн. ш. 28°05'57,28" у. д.	55°32'35,18" пн. ш. 28°11'24,16" у. д.	Дзісна - Заходняя Дзвіна - Балтыйскае мора	Нехрысьц, Ісцянка Улінец		
Алалопціцкі мяшэй	7				52°42'03" П"ш ш. 24°04'29" 7"ш л	52°42'45" В"пн ш. 24°04'16" В"ш л	Істопа - Нёман - Балтыйскае мора			Алалопціцкі

Рисунок 2 – База данных в Microsoft Excel

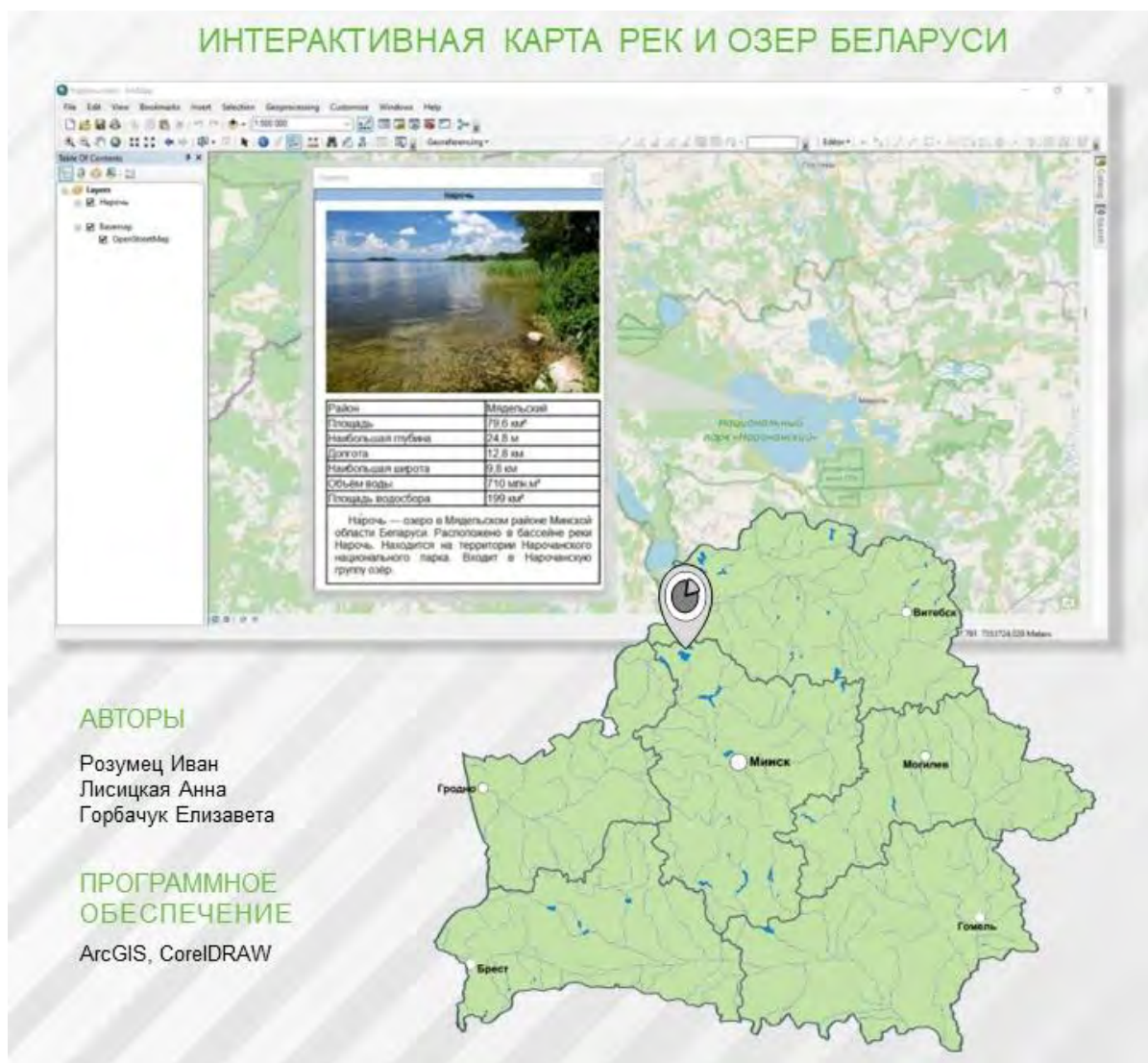


Рисунок 3 – Пример интерактивной карты рек и озер Республики Беларусь

Список цитируемых источников

1. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» [Электронный ресурс] / Картография. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/opisanie-kontseptsii-interaktivnoy-karty-1/viewer>. – Дата доступа: 01.04.2022.
2. Базы данных. Учебное пособие [Электронный ресурс] / Информатика и вычислительная техника. – Режим доступа: <https://siblec.ru/informatika-i-vychislitel'naya-tekhnika/bazy-dannykh>. – Дата доступа: 02.04.2022.

УДК 681.5

Евсеев К. А., Микуц А. Н.

Научный руководитель: ст. преподаватель Клопоцкий А. А.

**РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ
С ИНТЕГРИРОВАНИЕМ PYTHON В DELPHI**

Python для Delphi (P4D) – это набор бесплатных компонентов, которые превращают dllPython в Delphi и Lazarus (FPC). Они позволяют легко выполнять сценарии Python, создавать новые модули Python и новые типы Python. Вы мо-

жете создавать расширения Python в виде dll и многое другое. P4D обеспечивает различные уровни функциональности:

- Низкоуровневый доступ к API Python.
- Высокоуровневое двунаправленное взаимодействие с Python.
- Доступ к объектам Python с использованием пользовательских вариантов Delphi (VarPyth.pas)
- Обертывание объектов Delphi для использования в сценариях Python с использованием RTTI (WrapDelphi.pas).

P4D позволяет очень легко использовать Python в качестве языка сценариев для приложений Delphi. Он поставляется с обширным набором демонстраций и учебных пособий.

Зачем разработчику Delphi добавлять Python в свой набор инструментов? Все дело в доступе к библиотеке и возможности сценариев. Библиотека Python4Delphi (P4D) с открытым исходным кодом, разработанная Кириаком Влахом, автором популярной интегрированной среды разработки PythonPyScripter, позволяет вам как разработчику Delphi использовать всю коллекцию библиотек Python непосредственно из Delphi. Это также упрощает выполнение скриптов Python, создание новых модулей Python и новых типов Python непосредственно из вашего приложения Delphi.

Python4Delphi решает проблему загрузки основной библиотеки DLL Python в программу Delphi, встраивая интерпретатор Python в ваше приложение Delphi, но также имеет несколько демонстраций для обратного – для написания расширения с использованием Delphi.

Чтобы иметь представление, как языки программирования взаимодействуют друг с другом, рассмотрим следующий пример – сортировку методом пузырька.

В чем суть? При работе с массивами данных не редко возникает задача их сортировки по возрастанию или убыванию, т. е. упорядочивания. Это значит, что элементы того же массива нужно расположить строго по порядку. Например, в случае сортировки по возрастанию предшествующий элемент должен быть меньше последующего (или равен ему).

Что делать? Существует множество методов сортировки. Одни из них являются более эффективными, другие – проще для понимания. Достаточно простой для понимания является сортировка методом пузырька, который также называют методом простого обмена. В чем же он заключается и почему у него такое странное название "метод пузырька"?

А почему же такое название? Как известно воздух легче воды, поэтому пузырьки воздуха всплывают. Это просто аналогия. В сортировке методом пузырька по возрастанию более легкие (с меньшим значением) элементы постепенно "всплывают" в начало массива, а более тяжелые друг за другом опускаются на дно (в конец массива).

А зачем же их использовать в тандеме, если проще написать сразу в Python, не применяя Delphi? Достоинства следующие:

- Визуализация в Delphi [1], которой нет в Python [2].
- Высокое быстродействие в Delphi; загрузка и обработка кода в Python оставляет желать лучшего.
- Высокое качество визуализации.

С чего же начать? Взаимодействие Python и Delphi выглядит так: весь основной код содержит Python, а в Delphi лишь – графическая оболочка. Следовательно, сортировку будем писать в Python.

Что понадобится? Python славится не только простой кода, но и огромным множеством библиотек, одна из которых и понадобится в нашем примере – библиотека сортировки:

```
from SortModule import getvalue, swap
```

В нашем примере мы будем сортировать три модуля, следовательно, нам нужно создать и описать три функции. Опишем первую функцию:

```
def SortFunc1(handle, low, high):  
    for i in range(low, high):  
        for j in range(low + 1, high):  
            if getvalue(handle, j - 1) > getvalue(handle, j):  
                swap(handle, j - 1, j)
```

Что мы видим? Создается цикл, в котором описывается скорость, плавность и метод сортировки. В нашем случае сортировка будет самой медленной из всех трёх примеров, но при этом и самой плавной.

Опишем вторую функцию:

```
def SortFunc2(handle, low, high):  
    for i in range(low, high - 1):  
        for j in range(i + 1, high):  
            if getvalue(handle, i) > getvalue(handle, j):  
                swap(handle, i, j)
```

Как видно, глобальных изменений здесь не последовало, лишь небольшое увеличение скорости сортировки.

Опишем третью функцию. Третья функция будет самой быстрой из всех, которые представлены в нашем примере, вплоть до того, что не вооруженным глазом ее не заметишь. При демонстрации сразу трех функций это будет заметно.

Работа в Python закончена, остаётся лишь сохранить наш код в отдельном файле и загрузить его в Delphi, когда это будет необходимо.

Переходим в Delphi. Delphi славится своей графической визуализацией, поэтому метод сортировки запустится как нельзя кстати. Переходим в Design. С помощью библиотеки компонентов добавим те, которые необходимы для качественной визуализации. Добавим три компонента SortBox – это те области, в которых будет происходить сортировка. 4 компонента Button – простыми словами «кнопка». Кнопка загрузки скрипта Python, его сохранения, и две кнопки для сортировки: для сортировки 1 функции и трех функций сразу.

```

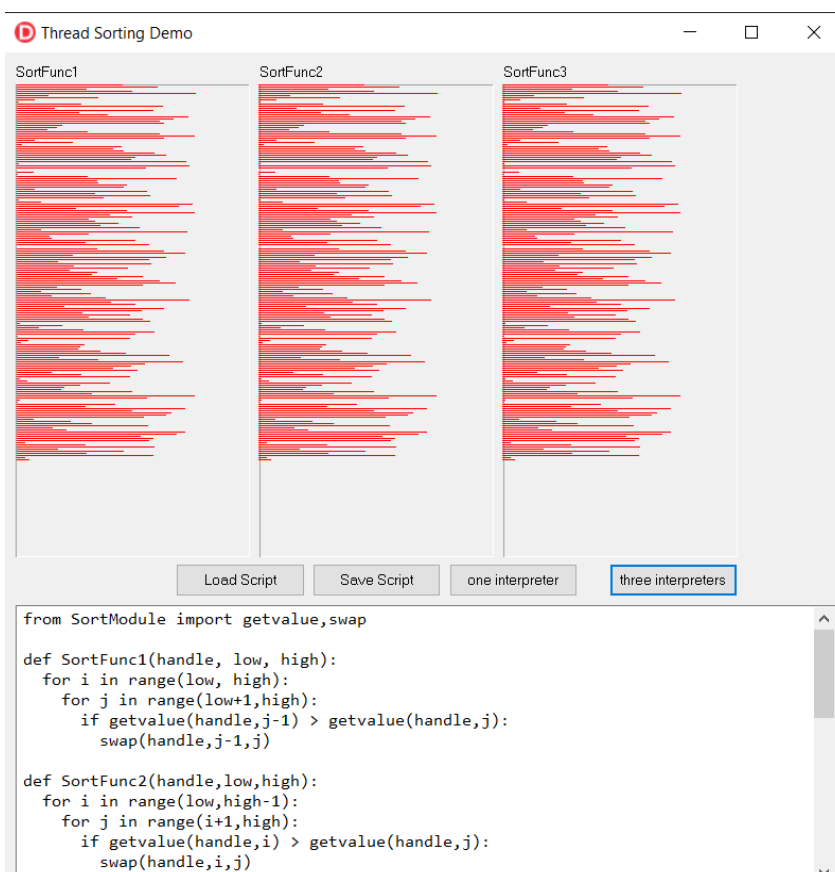
def SortFunc3(handle, low, high):
    Lo = low
    Hi = high - 1
    Mid = getvalue(handle, (Lo + Hi) // 2)
    while 1:
        while getvalue(handle, Lo) < Mid:
            Lo = Lo + 1
        while getvalue(handle, Hi) > Mid:
            Hi = Hi - 1
        if Lo <= Hi:
            swap(handle, Lo, Hi)
            Lo = Lo + 1
            Hi = Hi - 1
        if Lo > Hi:
            break
    if Hi > low:
        SortFunc3(handle, low, Hi + 1)
    if Lo < high - 1:
        SortFunc3(handle, Lo, high)

```

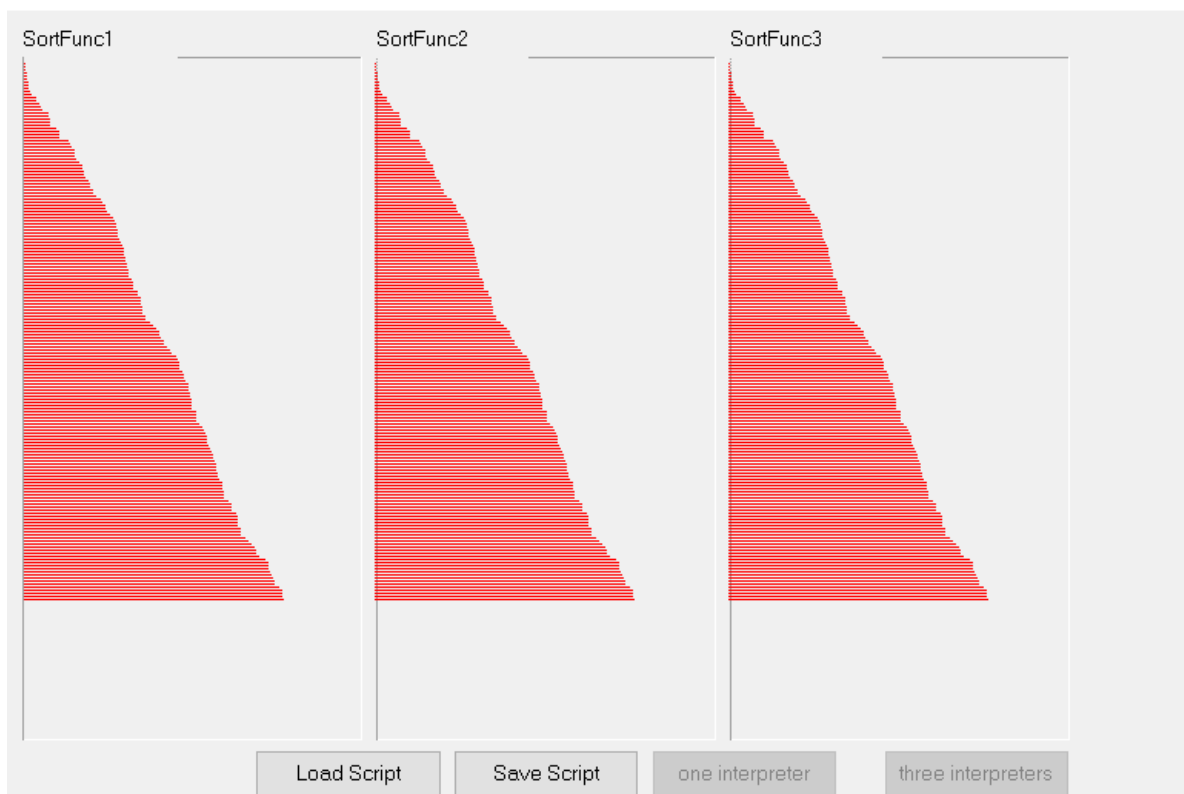
Осталось пару компонентов, которые мы возьмем из библиотеки P4D:

- PythonEngine – загружает и делает доступным Python. Доступ (low-level) к Python API.
- PythonModule – создает модуль Python в Delphi и обеспечивает доступ к нему из Python.
- SortModule – собственно, модуль сортировки.
- PythonMemo – область, где будет показан загруженный нами код Python.

Таким образом, собрав и разместив все компоненты по своим местам и описав все компоненты в Delphi, загрузим код из Python с помощью кнопки Load Script и увидим разбросанные пиксели, сортировка еще не запущена.



Выбрав кнопку one interpreter или three interpreters, запустим данный скрипт и увидим сортировку (картинками, к сожалению, не передать момент самой сортировки).



Результатом является расположение значений по возрастанию. Таким образом, совместное использование двух программных пакетов облегчает процесс программирования при расширении возможностей визуализации.

Список цитированных источников

1. Архангельский, А. Я. Программирование в Delphi 7 / А. Я. Архангельский. – М. : ООО «Бином-Пресс», 2003. – 1152 с.
2. Саммерфилд, М. Программирование на Python 3. Подробное руководство: пер. с англ. / М. Саммерфилд. – СПб. : Символ-Плюс, 2009. – 608 с.

УДК 519.6

Римашевская А. И.

Научный руководитель: ассистент Сидак С. В.;

ст. преподаватель Рамская Л. К.

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Развитие современных компьютерных технологий, совершенствование методов математического моделирования, автоматизация бизнес-процессов позволяют использовать более сложные математические методы нахождения параметров, отражающих скрытые, неявные свойства финансовых процессов. Одним из таких инструментов, получившим в настоящее время популярность в различных областях науки, является фрактальный анализ [1, с. 2]. Суть данного метода заключается в том, что состояние системы, в котором она находится в настоящий момент, формируется на основе предыдущих состояний или процессов.

В результате временной ряд на определенном промежутке является фрактальным (самоподобным).

Целью данной работы является анализ фрактальной структуры временного ряда курсов валют. Было проведено исследование теоретических основ фрактального анализа; разработан программный модуль определения фрактальных характеристик временного ряда и определены фрактальные характеристики временного ряда курсов валют с использованием разработанного программного модуля.

Исходными данными послужили официальные курсы белорусского рубля по отношению к доллару США, устанавливаемые Национальным банком Республики Беларусь ежедневно, за период с 03.01.2011 по 05.04.2022.

В теории фрактального анализа известны несколько способов исследования временных рядов и оценки их фрактальных размерностей. В данной работе использован метод, основанный на исследованиях английского ученого Хёрста. Этот метод анализа в научной литературе носит название R/S анализа [2, с. 25].

Специфика метода ориентирована на анализ колебаний с непостоянными амплитудой и частотой, т. е. нелинейных. В отличие от спектрального и корреляционного анализов, метод R/S анализа не требует, чтобы рассматриваемая выборка и её подвыборки изменялись по гармоническому закону. Основным достоинством критерия Хёрста является его устойчивость к априорному распределению временного ряда. Анализ Хёрста позволяет достаточно просто выявить периодические и даже не периодические циклы.

В современных исследованиях метод R/S анализа эффективно используется специалистами, занимающимися компьютерной графикой, решением финансовых и экономических задач, в области телекоммуникаций, в медицине, при анализе биоэлектрических сигналов, в механике полиграфических материалов и технологии печатных процессов [2, с. 10].

Рассмотрим подробнее процедуру R/S анализа. Для изучения фрактальной структуры ряда необходимо выполнить анализ интервала изменения параметра (разности между максимальным и минимальным значением на выбранном отрезке) и стандартного отклонения.

Алгоритм вычисления показателя Хёрста состоит из строго определенной последовательности статистических расчетов [3, с.12].

1. Разобьём исследуемый ряд $Q(t)$ на v непересекающихся отрезков длиной δ .
2. Для каждого полученного подмножества рассчитаем функцию $Q(t, \delta)$:

$$Q(t, \delta) = \sum_{i=1}^t (Q(i) - \bar{Q}),$$

где \bar{Q} – среднее значение для каждого интервала.

3. Рассчитаем величину размаха R накопленных отклонений от среднего, представляющую разность между максимальным и минимальным значениями $Q(t, \delta)$ для каждого из v разбиений:

$$R(t, \delta) = \max_{1 \leq \delta \leq n} Q(t, \delta) - \min_{1 \leq \delta \leq n} Q(t, \delta).$$

4. Для каждого интервала находим стандартное отклонение:

$$S(t, \delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^t (Q(i) - \bar{Q})^2}{\delta}}.$$

5. Рассчитаем нормированный размах по каждому интервалу:

$$R/S_l = \frac{R_l(t, \delta)}{S_l(t, \delta)}, \quad l = \overline{1, v}. \quad (1)$$

Для вычисленного по формуле (1) набора величин R/S находим среднее для всех разбиений. Составляем множество точек с координатами $(\ln(\delta), \ln(R/S))$, по которым строим H -траекторию. Используя линейное приближение по построенному графику зависимости $\ln(R/S)$ от $\ln(\delta)$ находим тангенс угла наклона полученной линии, который и считается показателем Хёрста (H).

6. Вычисляем статистику

$$V(\delta)_l = \frac{R/S_l}{\sqrt{\delta_l}}, \quad l = \overline{1, v}.$$

На основе анализа значений статистики $V(\delta)_l$ происходит оценка длины памяти временного ряда.

Значение H колеблется от 0 до 1 и является главным показателем трендоустойчивости ряда, а также определяет цвет шума. При определенных значениях H можно просто и надежно прогнозировать течение изучаемого процесса на основе предыдущих состояний процесса. Если показатель H равен 0.5, то сигнал представляет собой случайный процесс (белый шум). Процессам с более высоким значением H ($H > 0.5$) присуща персистентность. Это означает, что предыдущие значения ряда непосредственно повлияют на будущее значение, таким образом, наступление экстремального события будет предпосылкой более высокой вероятности того, что за ним последуют другое экстремальное событие. Чем ближе значение показателя H к 1, тем больше эта вероятность. Показатель $H > 0.6$ определяет область черного шума и указывает на наличие эффекта «долговременной памяти». Более низкий показатель H ($H < 0.5$) имеет отрицательную долгосрочную зависимость и соответствует области розового шума. Таким процессам характерна антиперсистентность, т. е. значения на текущем этапе противоположно влияют на будущее поведение ряда, что практически нельзя предсказать.

Алгоритм вычисления показателя Хёрста с использованием описанного метода является авторской разработкой и полностью автоматизирован в среде MS Excel+VBA. При вычислении показателя Хёрста в настоящих исследованиях была использована последовательность разбиений, представляющих k интервалов длиной m (таблица 1). Было выявлено, что среднее значение исследуемого ряда значительно изменяется с течением времени, поэтому было выполнено его предварительное логарифмирование.

Таблица 1 – Промежуточные вычисления показателя Хёрста

m	8	10	12	15	18	22	45	...	360	396	440	495	660	792	990	1320	1980
k	495	396	330	264	220	180	88	...	11	10	9	8	6	5	4	3	2
R/S	2,56	2,91	3,22	3,73	4,17	4,83	7,76	...	25,41	27,52	28,50	34,63	38,83	50,28	52,93	67,14	69,79
V(m)	0,91	0,92	0,93	0,96	0,98	1,03	1,16	...	1,34	1,38	1,36	1,56	1,51	1,79	1,68	1,85	1,57
ln(m)	2,08	2,30	2,48	2,71	2,89	3,09	3,81	...	5,89	5,98	6,09	6,20	6,49	6,67	6,90	7,19	7,59
ln(R/S)	0,94	1,07	1,17	1,32	1,43	1,57	2,05	...	3,24	3,32	3,35	3,54	3,66	3,92	3,97	4,21	4,25

На основании данных таблицы было получено значение показателя Хёрста $H = 0,615$ для исследуемого ряда (рисунок 1).

Из представленных результатов видно, что показатель Хёрста $H = 0,615 > 0,5$, т. е. временной ряд курса доллара за период 201–2022 гг. является персистентным и, следовательно, обладающим «памятью».

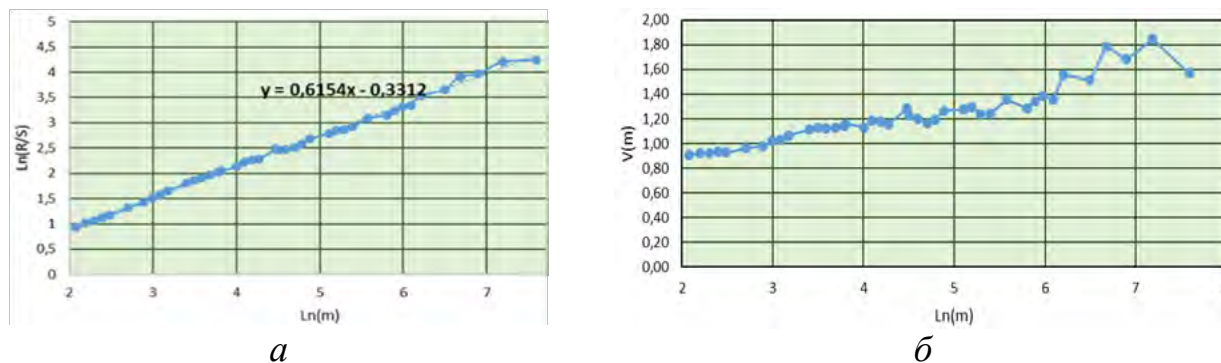


Рисунок 1 – Вычисление показателя Хёрста (а) и оценка длины «памяти» (б) ряда

Ориентировочная длина «памяти» для исследуемого ряда составляет 45 точек. Следовательно, в дальнейшем исследуемый ряд курсов валют будет развиваться по такой же тенденции, как и последние 45 значений ряда.

Список цитированных источников

1. Бисчоков, Р. М. Использование методов фрактального анализа для выявления характеристик временных рядов / Р. М. Бисчоков // Вестник Курганской ГСХА. – 2017. – № 4. – С. 70–79.
2. Петерс, Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: Применение теории хаоса в инвестициях и экономике / Э. Петерс. – М. : Интернет-трейдинг. 2004. – 304 с.
3. Волчек, А. А. К вопросу исследования гидрометеорологических рядов методами фрактального анализа / А. А. Волчек, С. В. Сидак // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ: сб. тез. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию РГГМУ, СПб., 22–24 окт. 2020 г. – СПб. : РГГМУ, 2020. – С. 321–323.

УДК 004.5

Каменец А. Г., Котыш А. Ю.

**Научные руководители: к. т. н., доцент Кофанов В. А.;
ст. преподаватель Хомицкая Т. Г.**

МЕХАНИЗМ СБОРА ДАННЫХ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАРИЯ GOOGLE WORKSPACE

При агрегации большого количества информации важно создать централизованную систему, которая будет обеспечивать надежность и непрерывность сбора данных. Так как процесс заполнения базы данных напрямую связан с человеком, то необходимо, чтобы эта система обладала удобным интерфейсом, через который осуществляется взаимодействие.

При разработке проекта сбора информации об участии студентов в научно-исследовательской работе (НИРС) [1] нами был предложен механизм автоматизированного процесса накопления и обработки данных, который обеспечивал возможность удобного заполнения, просмотра и редактирования сведений научно-исследовательской активности студентов.

Изначально структура проекта по сбору информации о НИРС состояла из трех элементов: GoogleForms, GoogleSheets и встроенного на GoogleSites веб-приложения [1].

Однако после того как данный способ сбора данных был опробован преподавателями, обнаружился ряд неудобств, связанных с внесением сведений посредством GoogleForms.

Во-первых, так как в университете работает корпоративная система GoogleWorkspace, то для указания авторов работ было решено использовать адрес корпоративной электронной почты, в которой уже содержатся данные о студентах и преподавателях. Из-за того, что форма не имеет доступа к базе данных, процесс ввода информации о нескольких участниках осложнялся необходимостью поиска их корпоративных имен с помощью иного приложения.

Во-вторых, вся информация вводилась вручную и одни и те же объекты (название мероприятия или вуза) могли быть записаны по-разному. Это могло приводить к некорректной агрегации данных. Поэтому нужно было найти способ устранить различные варианты написания уже известных объектов.

В-третьих, когда некоторым ответственным лицом вводилось большое количество информации от разных пользователей об одной и той же форме участия в НИРС, возникала необходимость повторного заполнения формы, что являлось довольно времязатратным и нерациональным.

Для решения всех вышеперечисленных проблем было решено отказаться от GoogleForms и перенести функционал на сайт, использовавшийся ранее, на котором доступен личный кабинет пользователя. Это реализовано в виде приложения, размещенного на отдельной странице сайта. Рассмотрим процесс ее заполнения на примере события о получении акта внедрения.

1. Изначально выбирается тип НИРС (в нашем случае акт внедрения).

2. Указывается информация о месте внедрения: страна, город, организация, кафедра (если организацией является БрГТУ). Если добавляемое место ранее было сохранено в системе, то оно появится в списке подсказок и все поля заполнятся автоматически (рисунок 1).

Добавить: Акт внедрения ▾
Организация (кафедра):
Студ

Страна: Беларусь
Город: Гомель
Организация: ООО СтудИнвест
Кафедра автоматизации технологических процессов и производств ▾

Закрыть событие Редактировать Сохранить

Рисунок 1 – Фрагмент страницы сайта с указанием информации о типе НИРС и о месте его внедрения

3. Указывается информация о результате внедрения: тип, номер, дата и название акта внедрения, студенты-участники и преподаватели-участники. Здесь реализована возможность «вытягивать» из базы данных адреса электронной почты участников, зная их фамилию, благодаря тому, что система автоматически находит ее, используя корпоративную систему аккаунтов. Это исключает допущение ошибок в личных данных и введение несуществующих аккаунтов. Также упрощается необходимость введения дополнительных данных, таких как ФИО, группа, кафедра, факультет (рисунок 2).

Номер акта внедрения:

Акт внедрения: Учебный процесс ▾

Номер акта внедрения:

Дата акта внедрения:

Название акта внедрения:

Студенты-участники:

Котыш Алина Юрьевна (elb00210@g.bstu.by)

1. Группа: ЭЛБ-2 Экономический факультет

Каменец Алина Геннадьевна (elb00209@g.bstu.by)

2. Группа: ЭЛБ-2 Экономический факультет

Преподаватели-участники:

Рисунок 2 – Фрагмент страницы сайта с указанием информации о результатах НИРС и его участниках

В рамках доступных корпоративных приложений Google Workspace мы воспользовались приложением Google Sheets, как наиболее простой формой организации хранения данных. Изначально, когда данные передавались из GoogleForms [2], использовалась только одна таблица (лист). Это приводило к тому, что огромная часть информации для одного и того же события (например, конференции или олимпиады) дублировалась и требовала повторного заполнения. При использовании Google Sheets в качестве базы данных пропадает ряд возможностей, встроенных в Google Workspace и позволяющих работать с несколькими таблицами или создавать взаимоотношения таблиц. Тем не менее, доступность Google Sheets и простота в использовании позволили нам быстро внедрить их в общий механизм работы.

После отказа от GoogleForms представилась возможность управления поступающими данными. Для организации хранения данных мы разделили всю накапливаемую информацию о НИРС на две части: событие (тип события и место проведения) и результат.

На первом листе подобного файла содержится информация о типе НИРС (событии): например, олимпиада, конкурс, акт внедрения. Она включает следующие поля: вид события, уровень, название события, дата события, электронная версия, место. В таблицу вносятся только уникальные значения, которые в будущем могут использоваться для автоматической подстановки значений.

Второй лист связан с первым и содержит информацию о результатах участия в НИРС. Здесь записываются такие значения, как название, дата результата, результативность и состав участников (текущие данные о студентах и преподавателях).

Такая реорганизация сбора и хранения данных об участии в НИРС позволила решить проблемы некорректного ввода, а также неудобств, связанных с необходимостью повторного заполнения данных, путем переноса возможностей Google Формы на сайт. Этим также было обусловлено изменение структуры Google Таблицы, используемой для агрегации полученной информации, что сделало процесс заполнения более совершенным.

Список цитированных источников

1. Разработка проекта по сбору информации о научно-исследовательской активности студентов / А. Г. Каменец [и др.] // Современные проблемы математики и вычислительной техники: сборник материалов XII Республиканской научной конференции молодых учёных и студентов, Брест, 18–19 ноября 2021 г. / Брестский государственный технический университет ; редкол.: В. А. Головки (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2021. – 126 с. – С. 70–72.

2. Сбор информации о научно-исследовательской активности студентов с использованием сервиса GoogleForms / А. Г. Каменец [и др.] // Вычислительные методы, модели и образовательные технологии: сб. материалов X Республиканская научно-практическая конференция «Вычислительные методы, модели и образовательные технологии», Брест, 22 октября 2021 г. / БрГУ имени А. С. Пушкина; под общ. ред. А. А. Козинского. – Брест, 2021. – С. 156–157.

УДК 629.735.4

Тарасюк Е. Н.

Научный руководитель: ст. преподаватель Бочарова Н. В.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ КВАДРОКОПТЕРА, РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАСТИ ВИНТА

Компьютерное моделирование и инженерный анализ в настоящее время являются неотъемлемой частью процесса проектирования. CAD-системы компьютерного геометрического моделирования (англ. computer-aided design) позволяют найти оптимальные проектные решения без затрат на производство изделий [1].

Создание и использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), квадрокоптеров стало серьезным прорывом в области интеллектуальных достижений. Инновации использованы во всех элементах этих устройств: от современных композитных материалов до новейшего навигационного оборудования.

В зависимости от размеров и заложенных программ квадрокоптеры имеют разное назначение. Отсюда и различные варианты их применения. Наиболее крупные и серьезные модели используются в армии – они снабжены фиксированными крыльями и требуют коротких взлетно-посадочных полос. Есть агрегаты, которые применяют для географической съемки местности, борьбы с браконьерством и в метеорологических целях. Дроны меньших размеров исполь-

зуют технологию вертикального взлета и посадки, а совсем миниатюрные модели запускаются с ладони.

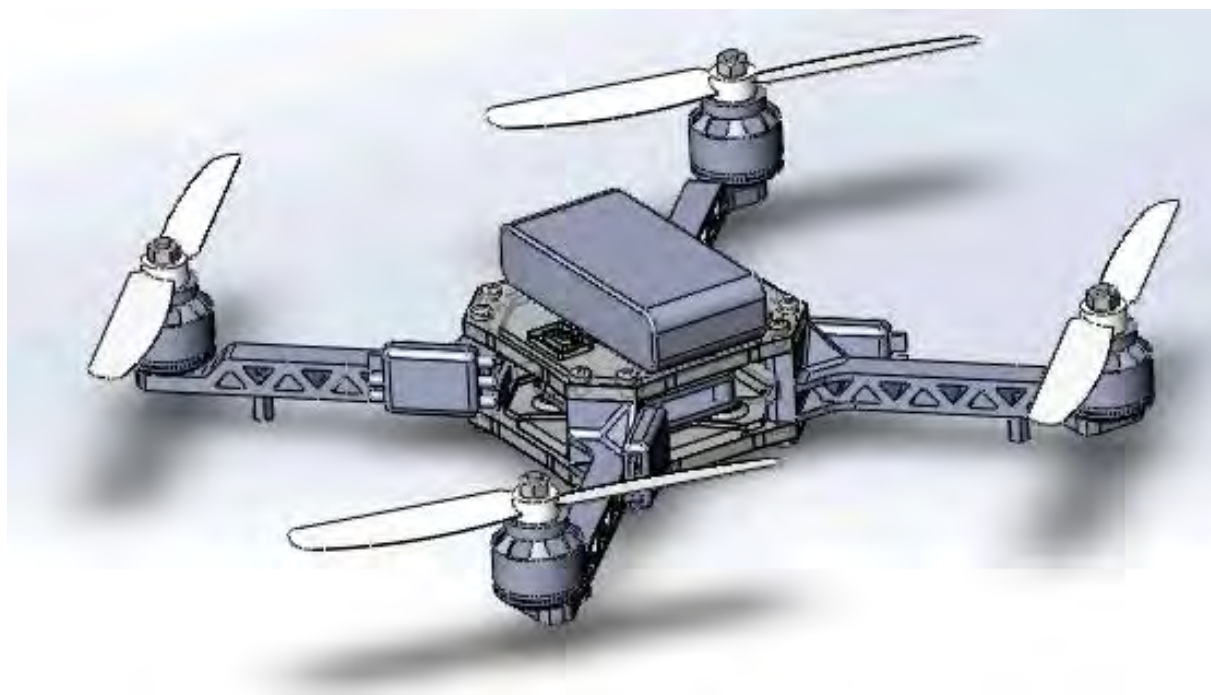


Рисунок 1 – Изометрия сборки квадрокоптера

Объектом исследования является квадрокоптер (рисунок 1), который является частным случаем мультироторной системы – многомоторного летательного устройства. Квадрокоптер держится в воздухе, управляется и перемещается за счет двух и более винтомоторных групп, расположенных преимущественно вертикально. При вращении винтов всех четырех моторов создается суммарная тяга. При этом моторы вращают винты в противоположных направлениях [2].

В настоящее время это перспективная отрасль, имеющая большую популярность, в развитие которой вкладываются средства в странах СНГ и за рубежом. Государственными органами по всему миру ведется работа по методике идентификации коптеров, по созданию инструментов регулирования.

Цель работы: выполнить трехмерное моделирование квадрокоптера (рисунок 1) и произвести инженерные расчеты винта на прочность, выполнить оптимизацию полученных результатов с учетом выбранного материала и конструкции, сделать вывод о самом эффективном варианте винта.

Модель квадрокоптера состоит из множества деталей (рама, батареи, втулки, прокладка, лопасти, двигатели, распределительный щит и различные электроэлементы), выполненных по реальным размерам в среде *SolidWorks*. Созданные детали могут быть изготовлены на 3D-принтере (несущие элементы корпуса) и собраны в работоспособное изделие. Детали (элементы) квадрокоптера, используя условия сопряжения, объединены в сборку для проверки взаимодействия элементов друг с другом, выполнено исследование движения (анимация).

Для оценки эффективности последующих рассматриваемых винтов будем рассматривать: прочность изделия, тягу, дороговизну изготовления и сложность в балансировке перед стабильным использованием.

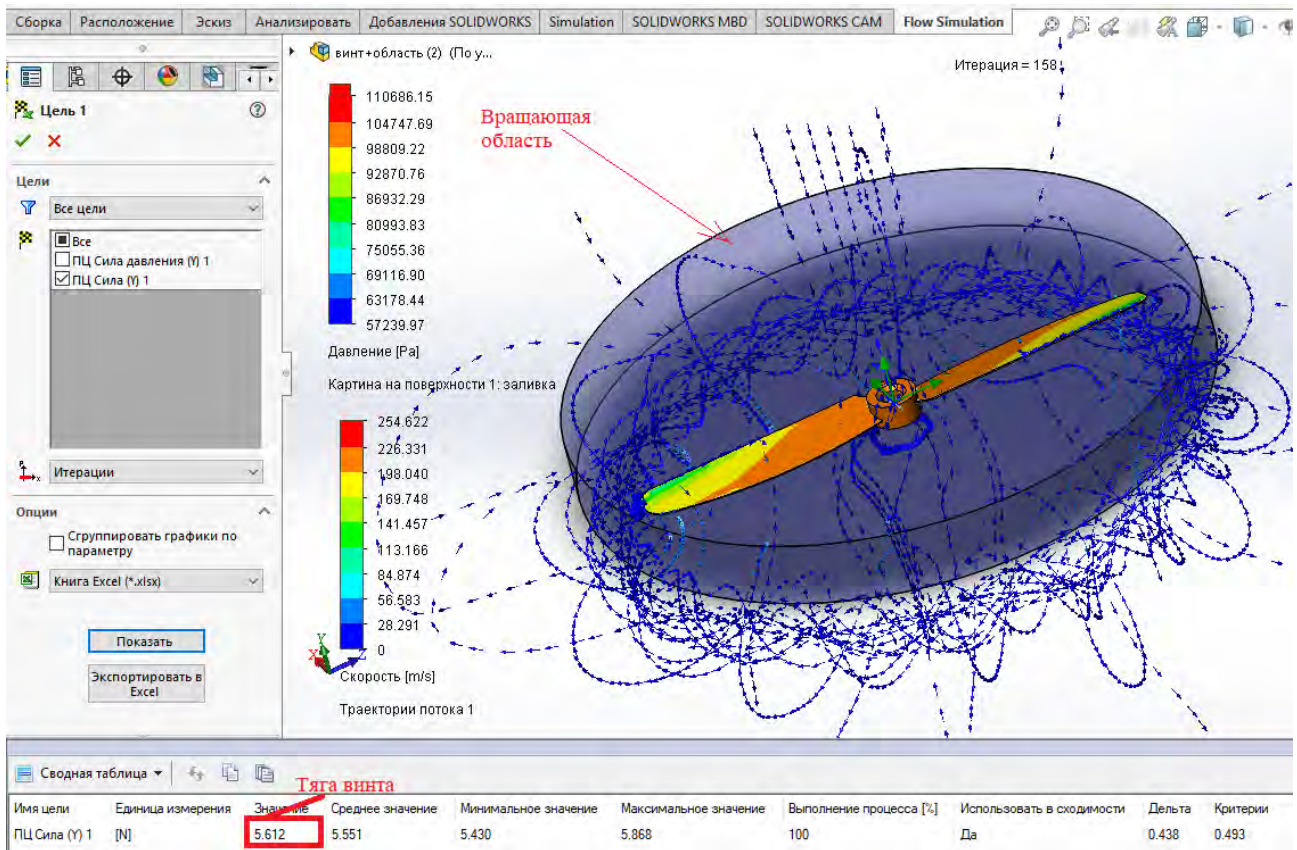


Рисунок 3 – Результаты расчёта модуля Flow Simulation (2 лопасти)

Основным материалов винта принимаем пластик «PET» (полиэтиленовый терефталат) с характеристиками из базы программного комплекса SolidWorks.

Винт может состоять из двух, трех или четырех лопастей, выполнили исследование при данных параметрах. Для задания потока воздуха использовали модуль Flow Simulation, который интегрирован в среду SolidWorks и позволяет учитывать действия воздушных поток и жидких сред. Для моделирования работы винта в реальных условиях задали деталь – «Вращающаяся область». Создали сборку, состоящую из компонентов: винт, вращающаяся область. В модуле Flow Simulation для вращающейся области задали переменное значение угловой скорости двигателя, а также основные цели расчета: силу давления и силу (тяга).

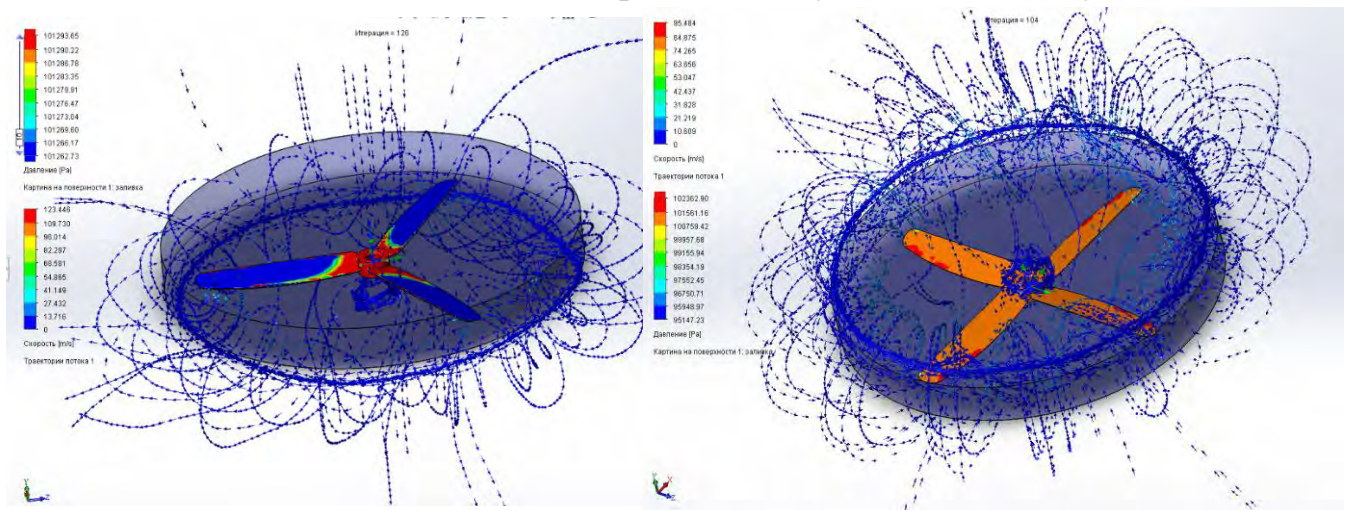


Рисунок 4 – Результаты расчёта модуля Flow Simulation (3, 4 лопасти)

В результате расчета получили траекторию потока, картину в сечении, давление воздуха на лопасти и тягу винта при заданных параметрах (рисунок 3, 4). Выполнили экспорт результатов в модуль Simulation, для получения напряженно-деформированное состояние винта.

Используя этот модуль, получили эпюры напряжения (рисунок 5), перемещения, деформации и запаса прочности, по которым и оценивается несущая способность винта при заданных внешних воздействиях.

При увеличении количества лопастей квадрокоптера больше становится его собственный вес. Для полета тяжелого квадрокоптера (с большим весом) нужны мощные двигатели, а при электрическом обустройстве беспилотника требуется более мощный аккумулятор, мощность которого растет с его весом [3], поэтому винты с четырьмя лопастями экономически не выгодно использовать для маленьких квадрокоптеров, хотя тяга при этом и больше.

Винт закреплен на корпусе и соединен с наружным ротором двигателя. Двигатели такого типа часто применяются на квадрокоптерах, так как они с легкостью крутят винты большого размера, но такие двигатели почти не оснащаются коробкой передач и это не позволяет управлять скоростью вращения и крутящим моментом, что иногда очень важно [4].

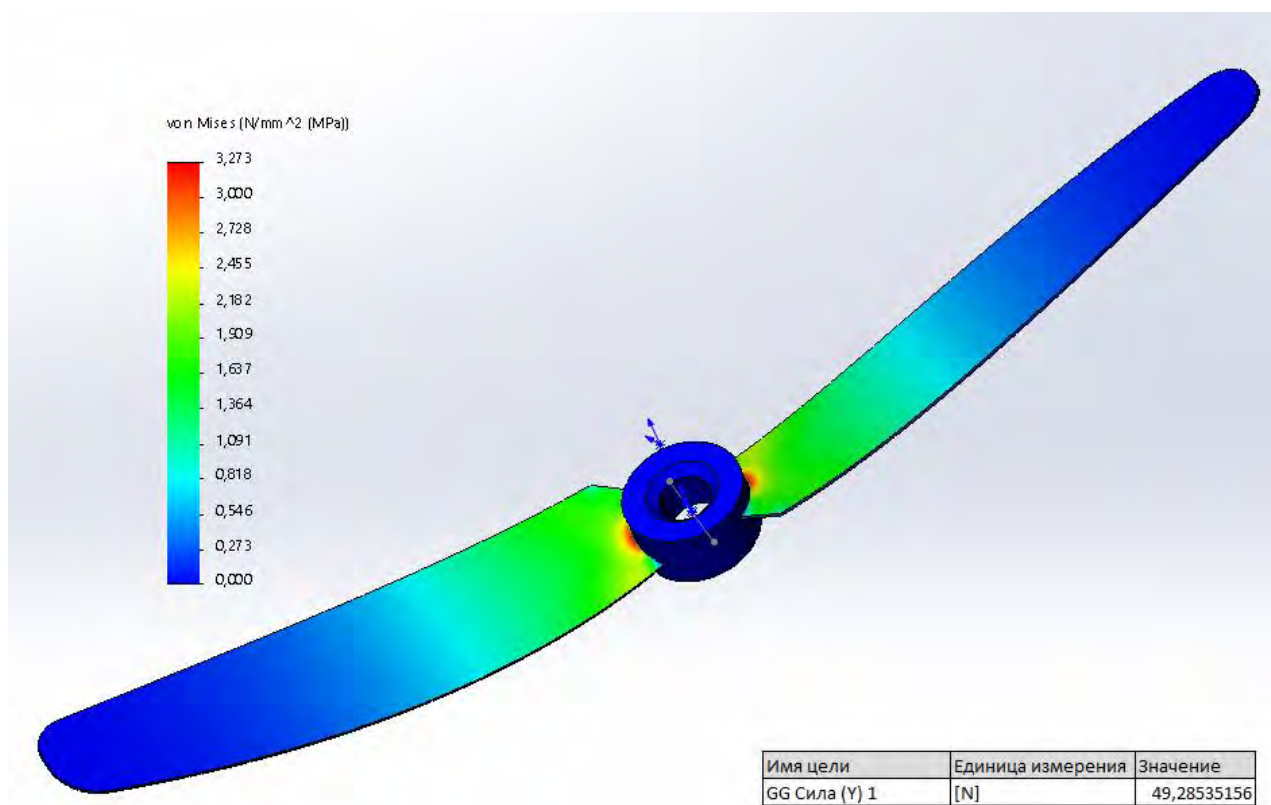


Рисунок 5 – Эпюра напряжений винта

Проведя ряд исследования и анализ полученных результатов можно с уверенностью сказать, что от количества лопастей винта значительно меняются его характеристики. Сравнивая тягу всех исследуемых объектов можно говорить о закономерном увеличении тяги при увеличении количества лопастей, что можно сказать и о прочности изделия. Однако цена тоже повышается, в зависимости от количества лопастей так же многократно увеличивается сложность ба-

лансировки подобных лопастей, уменьшая надежность изделия. С учетом всех вышеперечисленных аспектов можно говорить об наибольшей эффективности двухлопастного винта.

Список цитированных источников

1. Лукинских, С. В. Компьютерное моделирование и инженерный анализ в конструкторско-технологической подготовке производства : учебное пособие / С. В. Лукинских; М-во науки и высш. обр. РФ. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 168 с.
2. Астахова, В. А. Дроны и их пилотирование. С чего начать / Н. Л. Астахова, В. А. Лукашов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2021. – 224 с.
3. Гололобов, В. Н. Беспилотники для любознательных / В. Н. Гололобов, В. И. Ульянов. – СПб.: Наука и Техника, 2018. – 256 с.
4. Бейктал, Д.. Конструируем роботов. Дроны. Руководство для начинающих / Дж. Бейктал ; пер. с англ. Ф. Г. Хохлова.– 2-е изд., электрон. – М. : Лаборатория знаний, 2022.—226 с.

УДК 533.65.013.622

Хеук М. В., Гурский О. С.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Онысько С. Р.

СОЗДАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Развитие технологий в сфере летательных аппаратов набирает обороты с каждым годом. Одним из ярких примеров является разработка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Активное развитие БПЛА вызвано рядом преимуществ, по сравнению с привычной авиацией: отсутствие экипажа на борту устраняет риск людских потерь; возможность выполнения маневров с перегрузкой, превышающей физические возможности летчиков; большая продолжительность и дальность полета при отсутствии фактора усталости экипажа; относительно небольшая стоимость, малые затраты на их эксплуатацию.

В гражданской сфере наибольшее распространение получили небольшие по габаритам аппараты – квадрокоптеры, с четырьмя и более винтами, вращающимися в противоположном направлении. Квадрокоптер представляет собой уменьшенную модель аналога вертолета, обладающий большой маневренностью и обычно управляемый дистанционно. Как правило, на нём устанавливается мини-камера, позволяющая вести в полёте фото- и видеосъёмку [1].

Квадрокоптеры с каждым днем набирают популярность во многих точках земного шара. Они используются в вооруженных силах, различных государственных и коммерческих организациях, спецслужбах. Часто с помощью БПЛА снимают различные мероприятия, также они имеют возможность транслировать и производить запись видео, а также создают эффект присутствия при полете. БПЛА могут проникнуть практически в любые, даже самые труднодоступные места, осуществить доставку предметов аналогично привычной почте.

Данные устройства доступны и достаточно популярны, однако при их выборе можно столкнуться с некоторыми сложностями. Готовые модели сильно разнятся в своих возможностях и ценах, и при этом практически все устройства

импортного производства. Кроме этого, нет возможности улучшения характеристик или использования другого навесного или встроенного оборудования, так как нарушается целостность корпуса и значительно ухудшаются его летные характеристики [2].

Цель работы – разработать модель квадрокоптера с возможностью быстрой его перекомплектацией в зависимости от условий работы.

Для создания модели устройства использовалась система автоматического проектирования «КОМПАС-3D», при помощи которой были созданы все конструктивные элементы квадрокоптера, а также подготовлена конструкторская документация для создания и сборки готового изделия (рисунок 1).



Рисунок 1 – Проектирование и создание моделей в «КОМПАС-3D»

Для создания готового изделия была выбрана «аддитивная» технология производства, подразумевающая создание объектов за счет нанесения последовательных слоев материала (3D-печать). Данная технология является полной противоположностью традиционных методов механического производства и обработки, таких как фрезеровка или резка, где формирование облика изделия происходит за счет удаления лишнего материала.

Для создания деталей использовался 3D-принтер модели *Flyingbear Ghost 5*, технические характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики 3D-принтера

Параметр	Значение
Размер печати	255×210×200
Толщина слоя	0,05-0,4
Тип материала	PLA, ABS, TPU, HIPS, PET, PETG.
Точность позиционирования	Z = 0,002, X(Y) = 0,01
Диаметр сопла	0,4
Количество экструдеров	1
Формат входного файла	STL , OBJ , DAE , AMF
Совместимость	Windows, Mac, Linux.
Программное обеспечение для управления	Репетитор-хост, Cura S3D, Marlin

В качестве материала печати был выбран пластик *PETG* (называемый также сополиэфиром *PET*), являющийся пластичной смолой. *PETG* обладает рядом преимуществ: при нагреве не становится мутным и хрупким; добавочный гликоль препятствует кристаллизации и ломкости; ударопрочный; имеет низкую термоусадку при застывании; сочетает преимущества различных типов пластика таких как – *ABS* (прочность, термостойкость, долговечность) и *PLA* (легкость использования); относительная дешевизна. Пластик чист и аморфен, температура стеклования порядка 88 °С.

Внешний вид созданного квадрокоптера представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Действующая модель квадрокоптера и его полет

Основным критерием оценки работоспособности аппарата является возможность безопасного его нахождения в воздушном пространстве.

Для проверки работоспособности конструкции и возможности удержания квадрокоптера в воздухе были выполнены теоретические и практические расчеты подъемной силы [4].

Тяга, развиваемая одним винтом квадрокоптера, рассчитывается по формуле

$$P = \alpha \rho D^4 n_s^2, \quad (1)$$

где α – коэффициент тяги винта;
 ρ – плотность воздуха;
 D – диаметр винта;
 n_s – число оборотов двигателя.

Коэффициент тяги винта определяется из соотношения

$$\alpha = \frac{\eta \beta}{\lambda}, \quad (2)$$

где η – коэффициент полезного действия винта;
 β – коэффициент мощности винта;
 λ – безразмерный коэффициент винта.

Коэффициент мощности винта:

$$\beta = \frac{75N}{\rho D^5 n_s^3}, \quad (3)$$

где N – мощность двигателя.

Безразмерный коэффициент винта, характеризующий его работу, определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{V}{Dn_s}, \quad (4)$$

где V – скорость полета модели.

Для расчета были приняты данные, характеризующие имеющееся оборудование и прогнозируемые показатели квадрокоптера:

- число оборотов электродвигателя $n_s = 6000 \frac{\text{об}}{\text{мин}} = 100 \frac{\text{об}}{\text{с}}$;
- диаметр винта $D = 0,122 \text{ м}$;
- мощность электродвигателя $N = 14,3 \text{ Вт} = 0,019 \text{ л.с.}$;
- скорость полета модели $V = 11 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;
- плотность воздуха при нормальных условиях ($t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) $\rho = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

$$\beta = \frac{0,019 \times 75}{1,2 \times 0,122^5 \times 100^3} = 0,04.$$

$$\lambda = \frac{11}{0,122 \cdot 100} = 0,9.$$

Коэффициент полезного действия винта определяется по диаграмме-характеристике серии воздушных винтов (рисунок 3) [5] и составляет $\eta = 0,81$.

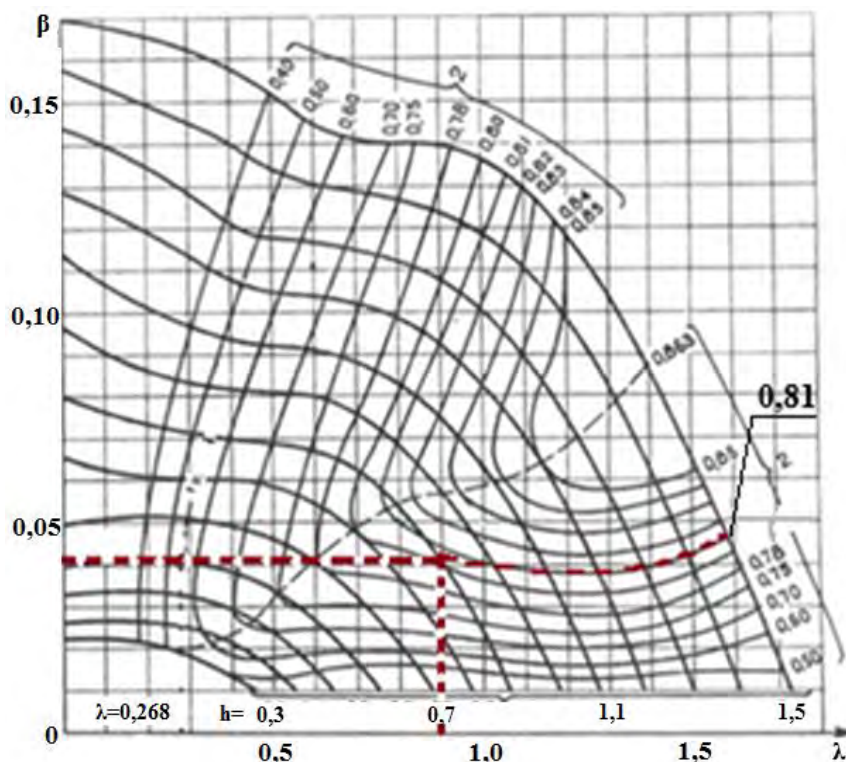


Рисунок 3 – Диаграмма-характеристика серии воздушных винтов

$$\alpha = \frac{0,81 \times 0,04}{0,9} = 0,036 .$$

$$P = 0,036 \times 1,2 \times 0,122^4 \times 100^2 = 0,096 \text{ кг} .$$

При условии использования четырех винтов в разработанном квадрокоптере, общая тяга будет равна 0,384 кг. Приблизительный вес конструкции с установленной видеокамерой составляет 0,245 кг, можно заключить, что мощности электродвигателей и диаметра винтов достаточно для поднятия и удержания модели в воздухе.

Натурные испытания созданной модели показали, что при дополнительном весе в 0,080 кг работа квадрокоптера осуществляется в штатном режиме. Однако, при превышении данного веса наблюдается значительное снижение времени работы аккумулятора и скорости набора высоты, что объясняется приближением к максимальной тяге квадрокоптера. Для повышения тяговооруженности стоит рассмотреть возможность увеличения диаметра винтов или изменения их профиля.

Список цитированных источников

1. Свердлов, С. З. Статический потолок электрического мультикоптера / С. З. Свердлов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2018. – Вып. 10.
2. Арзамасцев, А. А. Математические модели для инженерных расчетов летательных аппаратов мультироторного типа / А. А. Арзамасцев // Вестник российских университетов. – 2014. – № 6. – Ч. 1: Математика.
3. Александров, В. Л. Воздушные винты / В. Л. Александров. – М. : Оборонгиз, 1951. – С. 1821–1828.
4. Вершинин, И. Д. Способ построения имитационной модели воздушного винта / И. Д. Вершинин, Н. А. Зленко, А. Н. Кишалов // Ученые записки ЦАГИ. – 2008. – № 1–2. – С. 81–86.
5. Попков, М. А. Проектирование и оптимизация несущей системы квадрокоптера / М. А. Попков., М. В. Чугунов // Молодой ученый. – 2018. – № 14. – С. 30–35.
6. Бень, Е. Модели и любительские суда на воздушной подушке : пер. с польск. / Е. Бень. – Л. : Судостроение, 1983. – 71 с.

ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

КОМПЕНСАТОР РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В БЫТОВЫХ НАГРУЗКАХ

Традиционно считалось, что бытовые нагрузки потребляют в основном активную мощность (АМ). Распространение бытовых приборов с трансформаторами, электродвигателями и сложными электронными схемами привело к увеличению реактивной (индуктивной) мощности (РМ). При значении $\cos \varphi = 0,85$ РМ составляет 60 % от АМ. Вследствие этого возрастают и активные потери от передачи электроэнергии, которые при $\cos \varphi = 0,85$ составляют 15 % от полезной активной мощности у потребителя при 10 % в случае чисто активной нагрузки.

Учитывая значительную долю бытового потребления электроэнергии, составляющую 20 % от общего, задача разработки управляемого компенсатора реактивной мощности (КРМ) непромышленных нагрузок является актуальной. Промышленные устройства ступенчатого регулирования реактивной мощности построены с применением микропроцессорного контроллера и являются сложными и дорогими для массового использования в квартирных и других электрических сетях до 400 В с нагрузками до 50 кВт.

Для передачи мощности от генераторов электростанции до потребителя используют сначала повышающий трансформатор, распределительную подстанцию, а затем понижающую подстанцию. При прохождении мощности через трансформатор понижающей подстанции, из-за обмотки трансформатора и индуктивного элемента проводов до потребителя в сети возникают затраты активной мощности в виде потерь.

Реактивная составляющая необходима для создания магнитных и электрических полей в элементах электрической сети. Практически она не потребляется, а перетекает от источника питания (генератора) к электроприемнику и обратно.

Передача значительного количества реактивной мощности по линиям и через трансформаторы сети электроснабжения не выгодна по следующим причинам [1]:

1) Возникают дополнительные потери активной мощности в проводах, связанные с увеличением тока из-за реактивной мощности.

2) Возникают искажения формы переменного напряжения.

3) Загрузка реактивной мощностью линий электропередачи и трансформаторов уменьшает пропускную способность сетей электроснабжения, что в ряде случаев не позволяет использовать полную установленную мощность электрооборудования.

4) Загрузка РМ трансформаторов снижает их коэффициент полезного действия.

Для эффективного использования электрических машин и аппаратов желательно иметь более высокий коэффициент мощности или меньший сдвиг по фазе

тока относительно напряжения, т. е. $\cos \varphi \rightarrow 1$, $\varphi \rightarrow 0$. Высокий коэффициент мощности также желателен для уменьшения потерь при передаче энергии по линиям электропередачи.

В данный момент компании из разных сфер экономики сталкиваются с такой проблемой, как рост реактивной мощности в электрических сетях. Использование устройств для компенсации позволяет не только увеличить срок службы дорогой техники, но и снизить энергопотребление.

Целью данной работы является разработка устройства, способного компенсировать реактивную мощность.

Предлагаемая структурная схема КРМ с включением в контур управления контроллера на базе микропроцессора представлена на рисунке 1 [2].

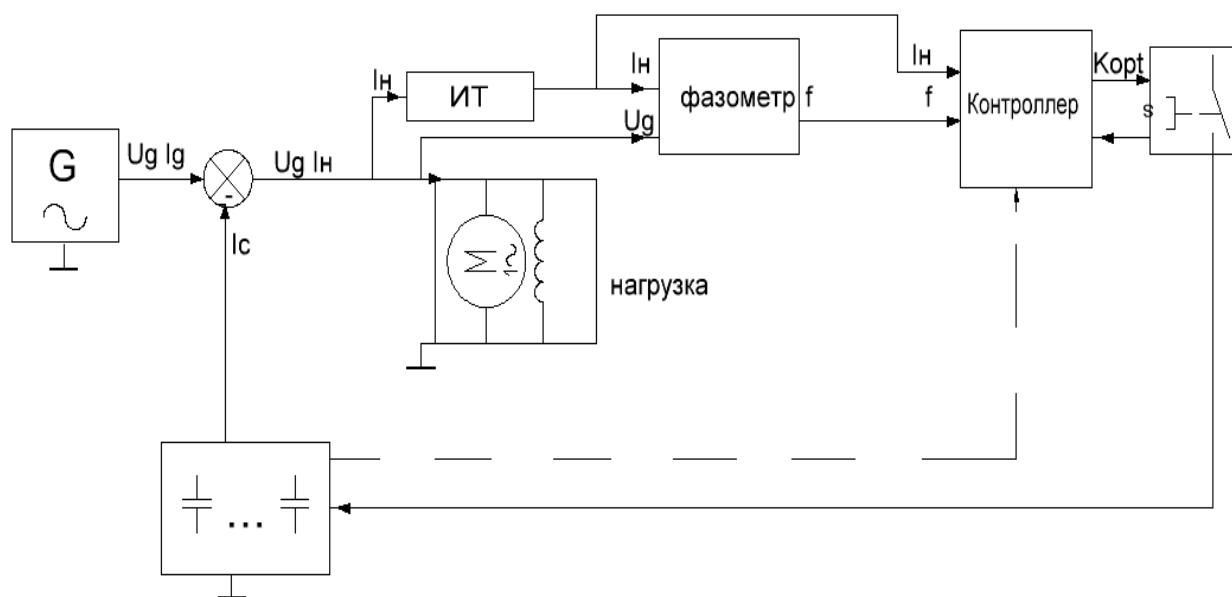


Рисунок 1 – Структурная схема компенсатора реактивной мощности

Генератор G питает нагрузку системы синусоидальным напряжением 220В 50Гц. Сигналы U_g , I_g поступают на вход элемента сравнения. В данном случае элемент сравнения выполняет функции векторной алгебры, создавая векторные суммы комплексов токов. Нагрузка меняет параметры сигнала тока на $I_n = I_g - I_c$, где конденсаторный ток создаётся из условия резонанса токов индуктивной нагрузки и компенсирующих конденсаторов.

Измеритель тока ИТ формирует сигнал I_n , который с сигналом U_g подаётся на фазометр, на выходе которого напряжение f , пропорциональное разности фаз питающего напряжения и тока нагрузки.

Контроллер принимает на себя функции блока умножения, усилителя и АЦП. Блок умножения перемножает сигналы тока и разности фаз в соответствии с формулой для расчёта емкости конденсаторов. Сигнал C на выходе блока определяет компенсирующую ёмкость. Усилитель масштабирует сигнал до уровня, требуемого аналогово-цифровым преобразователем АЦП для формирования кода K управления ключами коммутации конденсаторов компенсирующей батареи.

Коммутация в соответствии с кодом K приведёт к неравномерной нагрузке на ключи и работающие конденсаторы, что существенно снизит надёжность

элементов. Кроме того, при ограниченной долговечности элементов важно контролировать их состояние и учитывать его при управлении коммутацией. С этой целью в контур управления введён микропроцессорный контроллер. Функции контроллера состоят в анализе состояния симисторов коммутатора и конденсаторов, выборе алгоритма коммутации по многим критериям и информирования о потере работоспособности устройства. На выходе контроллера формируется сигнал управления ключами Корт.

Блок коммутаторов создаёт электрическую цепь для тока через блок компенсирующих конденсаторов.

Схема компенсации реактивной мощности подключается между счётчиком электроэнергии и нагрузкой потребителя. Основными узлами схемы являются:

- схема измерения разности фаз сетевого напряжения и потребляемого тока, отражающей долю РМ в нагрузке;

- схема управления ключами для коммутации компенсирующей ёмкости;

- линейка ключей между конденсаторами батареи и фазным проводом;

- компенсаторная батарея конденсаторов.

Для перемножения тока на разность фаз сигнал, пропорциональный току, выпрямляется диодным мостом со сглаживающим конденсатором.

Для расчёта ёмкости подключаемой секции батареи конденсаторов используются основные соотношения [3] для расчёта мощности в цепях синусоидального тока и векторная диаграмма напряжений и токов в RLC-цепи.

Активная мощность, потребляемая в нагрузке, рассчитывается по формуле (1)

$$P = U * I * \cos\varphi, \quad (1)$$

где U – напряжение питания нагрузки (220 В);

I – ток нагрузки;

φ – разность фаз напряжения и тока.

Реактивная (индуктивная) мощность нагрузки находится из уравнения

$$Q_L = U * I * \sin\varphi. \quad (2)$$

При подключении конденсаторов для полной компенсации индуктивной нагрузки ёмкостная мощность определяется выражением (3)

$$Q_C = I_C^2 / (2\pi fC), \quad (3)$$

где I_C – ток через конденсаторы;

f – частота сети (50 Гц);

C – искомая компенсирующая ёмкость.

Из векторной диаграммы

$$I_C / I_H = \sin\varphi; I_C = I_H \sin\varphi.$$

Приравняв $Q_L = Q_C$, получим

$$U I_H \sin\varphi = I_H^2 \sin^2\varphi / (2\pi fC).$$

Отсюда

$$C = I_H \sin\varphi / (2\pi f U).$$

Подставив в последнюю формулу $U = 220\text{В}$, $f = 50\text{Гц}$, получим финальную формулу для расчёта компенсирующей ёмкости

$$C = 15 I_H \sin\varphi. \quad (4)$$

Вывод

Построение компенсатора на аналоговых элементах для выполнения основных функций преобразования сигналов позволяет создать модель в понятиях теории автоматического управления (ТАУ). Рассмотрение модели как системы автоматического управления позволяет исследовать параметры компенсатора методами ТАУ с использованием компьютерных средств моделирования, например, Matlab с ControlSystemToolbox и Simulink. Использование компенсатора реактивной мощности является целесообразным и актуальным.

Список цитированных источников

1. Кабышев, А. В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие / А. В. Кабышев. Томск: издательство Томского политехнического университета, 2012. – 234 с.

2. Ярошевич, А. В. Схема компенсации реактивной мощности в квартирных электрических сетях / А. В. Ярошевич // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест : БрГТУ. – 2011. – № 5 (71): Физика, математика, информатика. – С.66–67.

3. Регулятор реактивной мощности с аналоговым вычислителем. Рэспубліка Беларусь / ПАТЭНТ на карыснуюмадэль № 8066 / Аутар Ярошевич А. В. / Зарэгістравана у Дзяржауным рээстры карысных мадэляу 2011.12.15.

УДК 681.5

Терещук Г. В.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Прокопеня О. Н.

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ РЕАЛИЗАЦИИ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ

Использование наблюдателя состояния позволяет существенно уменьшить количество измерительных устройств при построении системы регулирования [1. 2]. Это особенно актуально, если система имеет высокий порядок. При построении системы позиционного управления на основе двигателя постоянного тока требуется датчик положения, датчик угловой скорости и датчик тока двигателя. При использовании наблюдателя требуется только датчик положения, что существенно упрощает привод.

Однако, вследствие того, что постоянные времени двигателя постоянного тока очень малы (сотые доли секунды), можно предположить, что при цифровой реализации наблюдателя потребуется очень малое время дискретизации (период квантования). Это, в свою очередь, потребует высокого быстродействия вычислительного устройства, на котором реализуется наблюдатель. Таким образом, возникает задача определения требований по быстродействию к программируемому контроллеру при построении привода постоянного тока с

наблюдателем состояния. Данный вопрос требует дополнительного исследования прежде всего методами математического моделирования. Для этого требуется дискретная модель наблюдателя состояния, которая может быть реализована в виде программы для контроллера.

Уравнения состояния привода с учетом силового преобразователя и редуктора

$$\begin{aligned}\dot{\alpha} &= k_p \omega; \\ J_p \cdot \dot{\omega} &= c_M \cdot I_{\text{я}}; \\ L_{\text{я}} \cdot \dot{I}_{\text{я}} + (R_{\text{я}} + R_{\text{дп}}) \cdot I_{\text{я}} + c_e \cdot \omega &= k_y U_{\text{я}};\end{aligned}$$

где α – угол поворота выходного звена;

ω – угловая скорость двигателя;

$I_{\text{я}}$ – ток якоря двигателя;

J_p – момент инерции ротора;

$L_{\text{я}}$ – индуктивность обмотки якоря;

$R_{\text{я}}$ и $R_{\text{дп}}$ – сопротивление обмотки якоря и обмотки дополнительных полюсов;

k_p и k_y – коэффициенты передачи редуктора и силового преобразователя (усилителя).

c_e и c_M – постоянные двигателя.

Данным уравнениям соответствуют матрицы

$$A = \begin{bmatrix} 0 & k_p & 0 \\ 0 & 0 & \frac{c_M}{J_p} \\ 0 & -\frac{c_e}{L_{\text{я}}} & -\frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{k_y}{L_{\text{я}}} \end{bmatrix}; \quad C = [1 \ 0 \ 0]; \quad D = [0].$$

Уравнение наблюдателя в матричной форме

$$\dot{\bar{X}} = F\bar{X} + BU + Gy;$$

где

$$\begin{aligned}F = A - GC &= \begin{bmatrix} 0 & k_p & 0 \\ 0 & 0 & \frac{c_M}{J_p} \\ 0 & -\frac{c_e}{L_{\text{я}}} & -\frac{R_{\text{я}} + R_{\text{д.п.}}}{L_{\text{я}}} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{bmatrix} [1 \ 0 \ 0], \\ &= \begin{bmatrix} -g_1 & k_p & 0 \\ -g_2 & 0 & \frac{c_M}{J_p} \\ -g_3 & -\frac{c_e}{L_{\text{я}}} & -\frac{R_{\text{я}} + R_{\text{д.п.}}}{L_{\text{я}}} \end{bmatrix}\end{aligned}$$

В развернутом виде уравнения состояния наблюдателя

$$\dot{\bar{\alpha}} = -g_1 \bar{\alpha} + K_p \bar{\omega} + g_1 y;$$

$$\dot{\bar{\omega}} = -g_2 \bar{\alpha} + \frac{c_m}{J_p} \bar{I}_я + g_2 y;$$

$$\dot{\bar{I}}_я = -g_3 \bar{\alpha} - \frac{c_e}{L_я} \bar{\omega} - \frac{R_я + R_{д.п.}}{L_я} \bar{I}_я + \frac{K_y}{L_я} U + g_3 y.$$

Коэффициенты матрицы G определяются при синтезе наблюдателя [1] по заданным значениям полюсов.

Конечно-разностные уравнения

$$\alpha_{(k+1)} = (1 - g_1 T) \alpha_{(k)} + K_p T \omega_{(k)} + g_1 T y_{(k)};$$

$$\omega_{(k+1)} = \omega_{(k)} - g_2 T \alpha_{(k)} + \frac{c_m}{J_p} T I_{(k)} + g_2 T y_{(k)};$$

$$I_{(k+1)} = I_{(k)} - g_3 T \alpha_{(k)} - \frac{c_e}{L_я} T \omega_{(k)} - \frac{R_я + R_{д.п.}}{L_я} T I_{(k)} + \frac{K_y}{L_я} T U_{(k)} + g_3 T y_{(k)},$$

где T – период квантования.

Данные уравнения позволяют реализовать наблюдателя в виде программы для контроллера. На рисунке 1 представлена математическая модель привода, синтезированного методом размещения полюсов, построенная в приложении SIMULINK, в которой наблюдатель построен непосредственно по конечно-разностным уравнениям. Это позволяет принудительно задавать желаемое значение периода квантования и таким образом исследовать его влияние на точность работы наблюдателя и, соответственно, качество работы привода в целом.

На рисунке 2 показана переходная характеристика привода, полученная с помощью данной модели при значении периода квантования 0,003 с. Результаты моделирования показывают, что при дальнейшем уменьшении периода квантования характеристика остается практически неизменной. Можно считать, что данная характеристика соответствует случаю использования аналогового наблюдателя состояния.

При увеличении периода квантования относительно указанного значения характеристика начинает меняться, что говорит о снижении точности работы наблюдателя. На рисунке 3 приведена переходная характеристика при периоде квантования 0,004 с. В системе начинает появляться перерегулирование, что сопровождается некоторым уменьшением времени регулирования. Но уже при периоде квантования 0,005 с система становится неустойчивой. Таким образом, для корректной работы наблюдателя цикл работы контроллера не должен превышать 0,003 с (для рассматриваемого привода), что является достаточно жестким требованием с точки зрения быстродействия. Учитывая, что переход к неустойчивой системе происходит достаточно резко, целесообразно иметь определенный запас по быстродействию, т. е. задавать время цикла еще меньше. Очевидно, что не любой программируемый контроллер подойдет для построения привода постоянного тока с наблюдателем состояния по причине недостаточного быстродействия.

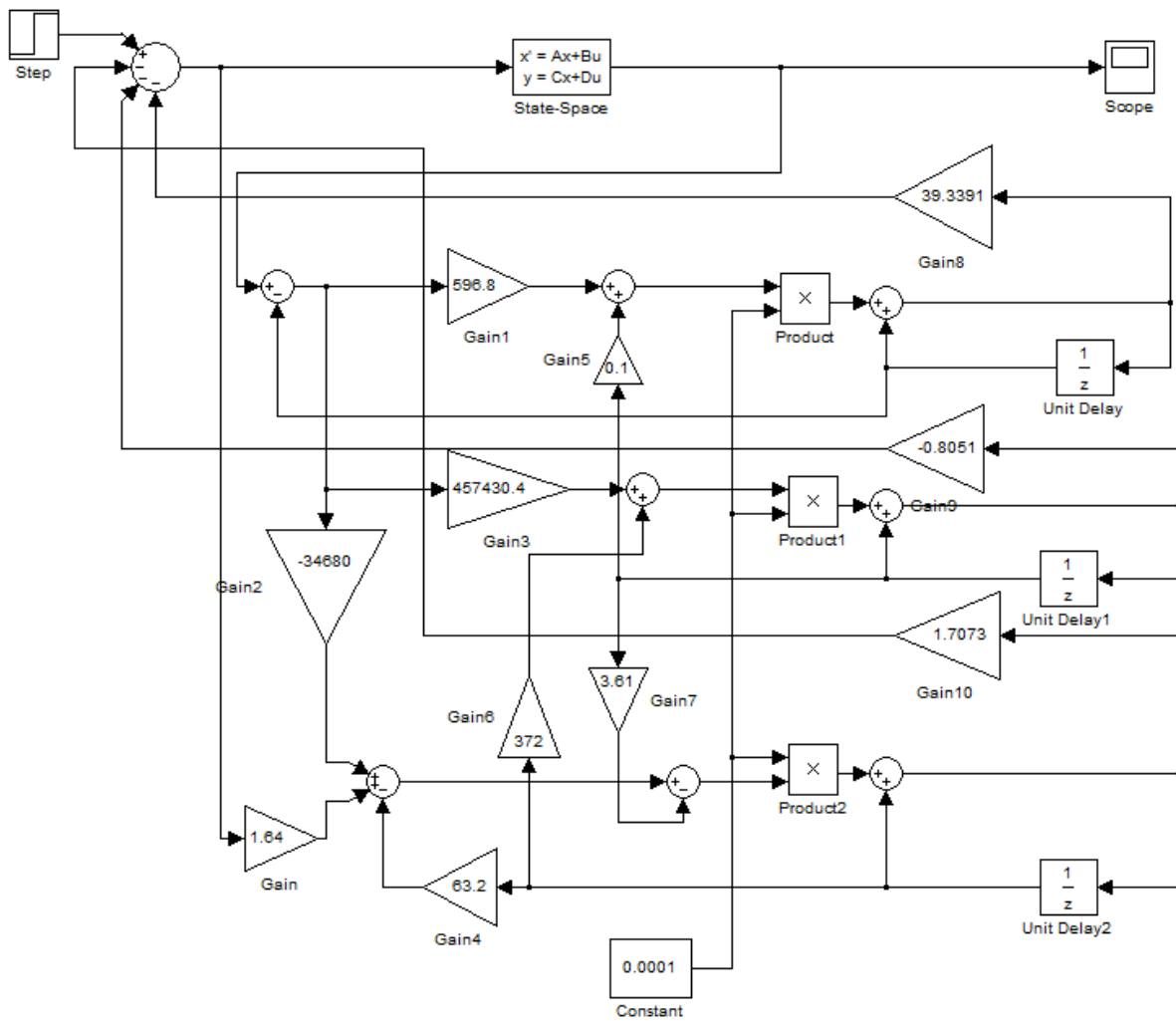


Рисунок 1 – Математическая модель привода с наблюдателем состояния в приложении SIMULINK

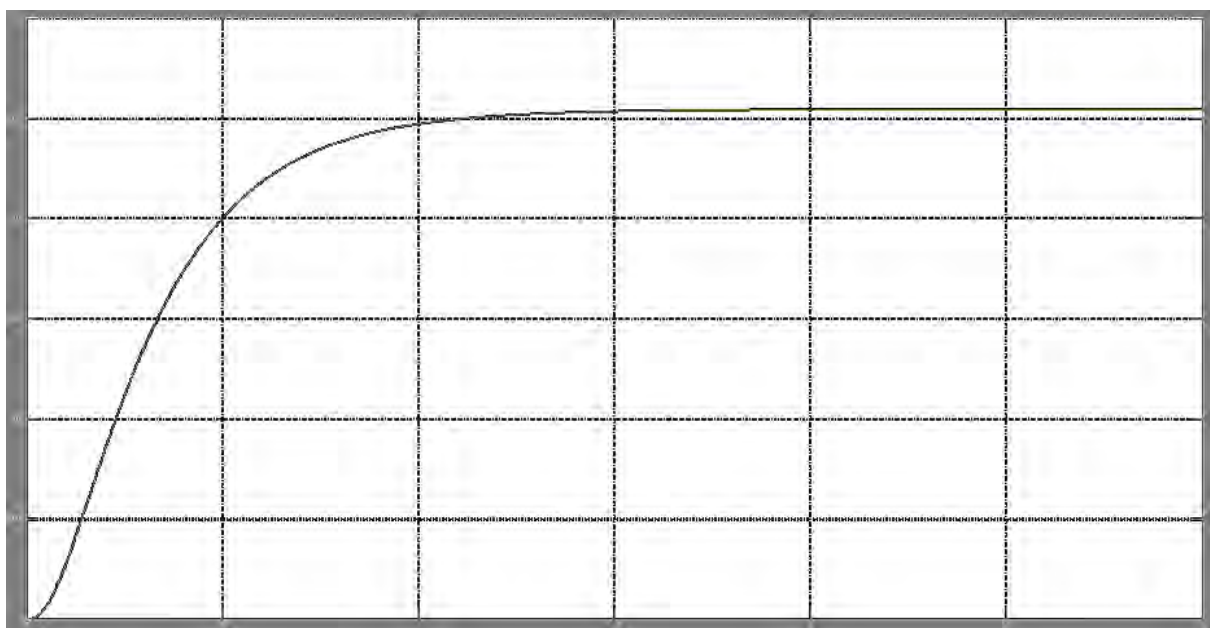
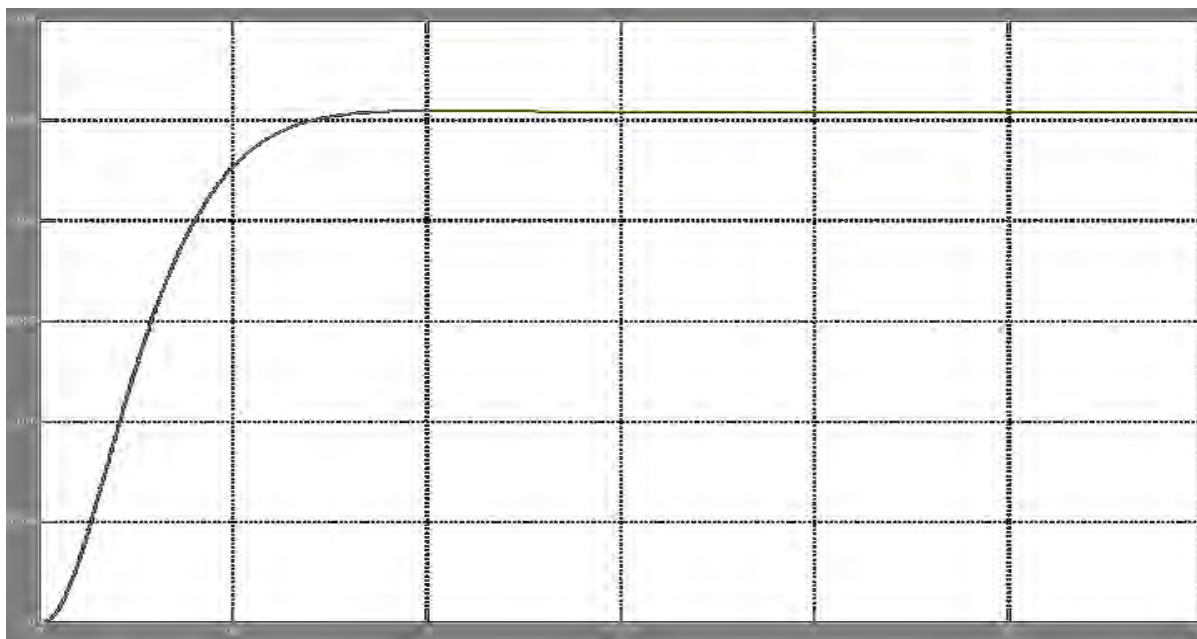


Рисунок 2 – Переходная характеристика привода с наблюдателем состояния



**Рисунок 3 – Переходная характеристика
при периоде квантования $T = 0,004$ с**

Проведенные исследования подтверждают необходимость оценки требуемого быстродействия контроллера при построении привода постоянного тока с наблюдателем состояния методами математического моделирования. Для решения данной задачи может быть использована предложенная математическая модель. Результаты работы могут быть использованы при проектировании приводов постоянного тока.

Список цитированных источников

1. Филлипс, Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филлипс Ч., Р. Харбор. – М. : Лаборатория базовых знаний, 2001. – 616 с.
2. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; пер. с англ. Б. И. Копылова. – М. : Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.

УДК 621.865.8

Кокудович Д. В., Сааков А. В.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Прокопья О. Н.

АНАЛИЗ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ НА ОСНОВЕ СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В настоящее время мехатронные системы находят все большее применение в робототехнике и других отраслях. Принципы построения данных систем определены [1, 2]. Основу данных систем составляют мехатронные модули, которые могут быть построены на основе различных типов двигателей. Синхронный электродвигатель позволяет обеспечить стабильную скорость вращения, которая зависит только от частоты питающего напряжения, что позволяет создавать высокоточные модули движения на его основе.

Принцип действия синхронно двигателя основан на взаимодействии магнитных полей статора и ротора. Вращающий момент синхронного двигателя зависит от угла θ между осями полюсов ротора и статора

$$M = M_m \sin \theta, \quad (1)$$

где M_m – максимальное значение момента.

Указанный угол

$$\theta = \alpha - \alpha_p, \quad (2)$$

где α и α_p – угол поворота поля статора и угол поворота ротора.

Зависимость $M = f(\theta)$ называется угловой характеристикой синхронного двигателя. Она представлена на рисунке 1.

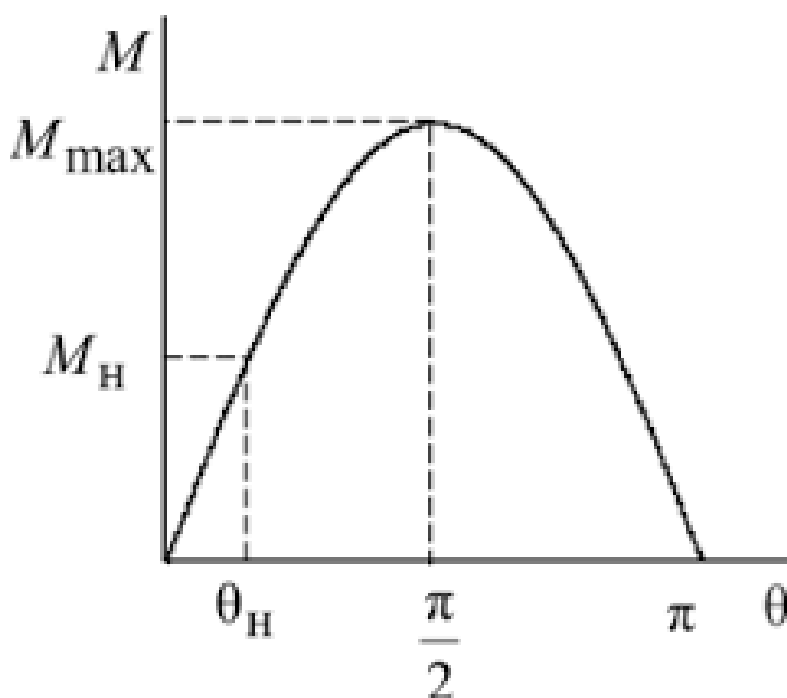


Рисунок 1 – Угловая характеристика синхронного двигателя

На угловой характеристике существует участок устойчивой работы двигателя. Максимальная устойчивость работы синхронного двигателя достигается при θ_H , обычно это значение находится в пределах $30\text{--}35^\circ$. При увеличении этого значения устойчивость работы синхронного двигателя уменьшается. При увеличении значения θ до 90° стабильная работа двигателя становится невозможной. Если нагрузка на двигатель превысит значение M_{\max} , двигатель выпадет из синхронизма и нормальный режим работы нарушится.

Уравнение движения ротора двигателя

$$M = (I_p + I_n) \ddot{\alpha}_p, \quad (3)$$

где I_p и I_n – момент инерции ротора и приведенный к ротору момент инерции механизма.

Уравнение (3) с учетом (1) и (2) можно записать в виде

$$\ddot{\alpha}_p = \frac{M_m}{I_p + I_n} \sin(\alpha - \alpha_p). \quad (4)$$

По уравнению (4) в приложении SIMULINK построена математическая модель мехатронного модуля, приведенная на рисунке 2, которая описывает изменение угла поворота ротора. Входной переменной является скорость вращения магнитного поля статора, которая формируется преобразователем частоты. При этом инерционность преобразователя не учитывается.

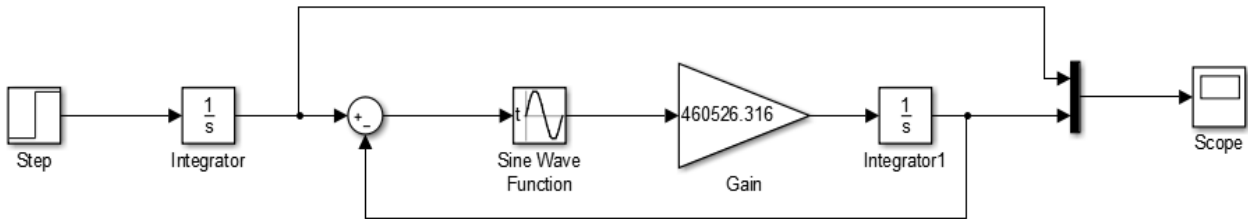


Рисунок 2 – Математическая модель мехатронного модуля в приложении SIMULINK

Данная модель позволяет исследовать характер движения ротора при подаче на двигатель напряжения определенной частоты, соответствующей заданной скорости вращения, и выявить условия, при которых происходит потеря синхронизма. На осциллограф выведены углы поворота магнитного поля и ротора. Результаты моделирования показаны на рисунках 3, 4 (увеличенные фрагменты осциллограмм, по которым можно определить смещение полюсов ротора относительно статора). Рисунок 3 соответствует заданной скорости вращения 9000 мин^{-1} , а рисунок 4 – скорости 105 мин^{-1} .

Из приведенных рисунков следует, что исследуемый двигатель не может с места разогнаться до скорости 9000 мин^{-1} , которая является для него номинальной. На рисунке 3 разность углов в отдельные моменты превышает $1,57 \text{ рад}$, что говорит о проскальзывании ротора относительно поля, т. е. потере синхронизма. В то же время на рисунке 4 разность углов не превышает $0,001 \text{ рад}$ (колебания ротора относительно поля незначительны). Соответственно, двигатель способен с места разогнаться до скорости 105 мин^{-1} в синхронном режиме. Следовательно, при задании высокой скорости вращения задающий сигнал необходимо подавать с линейным нарастанием в течение определенного времени, которое может быть установлено с помощью данной модели, что обеспечит разгон в синхронном режиме.

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет определить максимальную скорость нарастания входного сигнала, при которой обеспечивается корректная работа привода (без проскальзывания ротора относительно поля) для различных значений приведенного момента инерции механизма, что может использоваться при настройке управляющего контроллера.

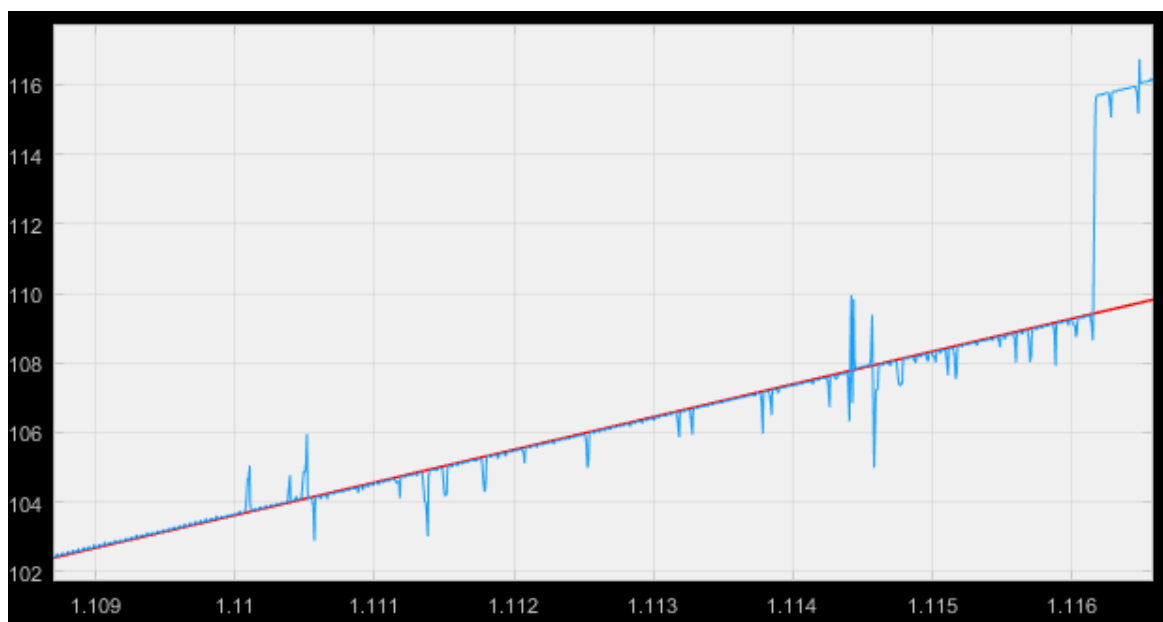


Рисунок 3 – Осциллограмма изменения углов поворота полюсов статора и ротора при заданной скорости 9000 мин⁻¹

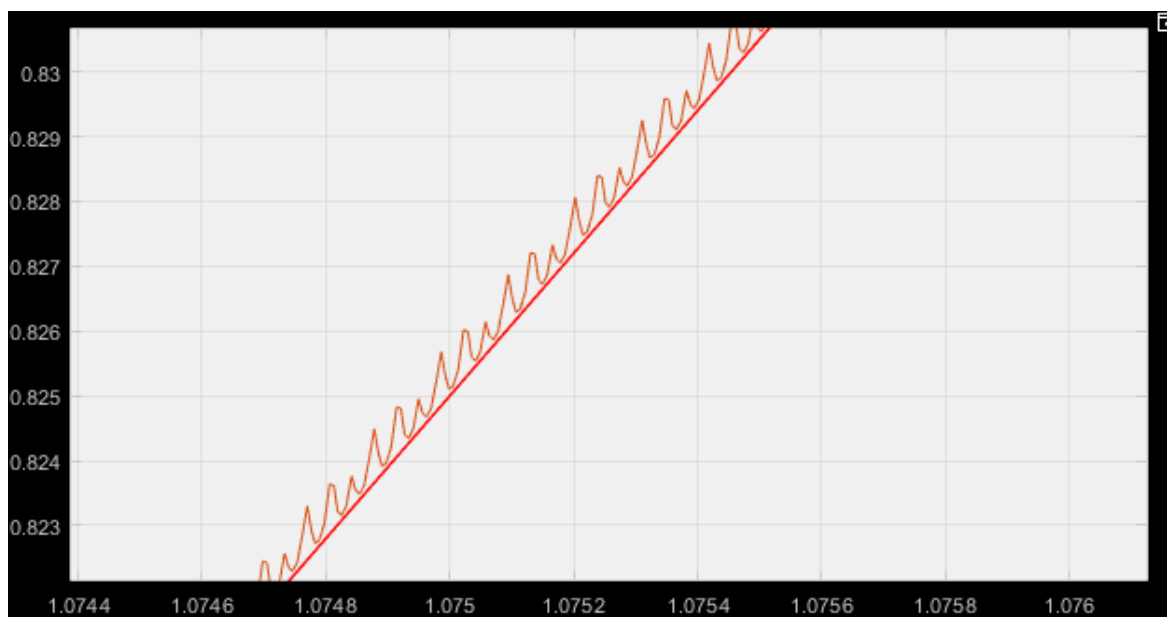


Рисунок 4 – Осциллограмма изменения углов поворота полюсов статора и ротора при заданной скорости 105 мин⁻¹

Результаты работы могут быть использованы при построении мехатронных модулей на основе синхронных электродвигателей и настройке их системы управления.

Список цитированных источников

1. Жавнер, В. Л. Мехатронные системы: учеб. пособие / В. Л. Жавнер, А. Б. Смирнов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 131 с.
2. Грабченко, А. И. Введение в мехатронику: уч. пособие / А. И. Грабченко [и др.]. – Х. : НТУ «ХПИ», 2014. – 264 с.

УДК 62-523.3

Онищук Д. А.

Научные руководители: к. т. н., доцент Савчук С. В.; к. т. н. Парфиевич А. Н.

СИСТЕМА АКТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА НАВЕСНОЙ СИСТЕМЫ ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА

В процессе выполнения рабочего процесса посевного агрегата электрогидравлическому приводу навесной системы сельскохозяйственной машины необходимо поддерживать при работе плоскопараллельное движение относительно почвы и обеспечивать горизонтальное положение несущей рамы относительно обрабатываемого горизонта. Соблюдение данного параметра без дополнительных решений проблематично, т. к. при движении и выполнении заданного технологического процесса в полевых условиях незначительное отклонение плоскопараллельного состояния несущей рамы дает значительное изменение глубины посева на противоположном конце машины, что может привести к снижению урожайности до 40 %.

Для нивелирования данного аспекта работы посевного агрегата современные мировые производители в конструкцию машины вводят дополнительные передние опорные колеса, что позволяет укоротить рабочую базу и, как следствие, существенно сократить погрешность и отклонения от регламентированных значений посева (рисунок 1)



Рисунок 1 – Агрегат комбинированный почвообрабатывающее-посевной модели АППМ-4 с передним опорным колесом

Существуют конструкции, обеспечивающие копирование рельефа поверхности поля опорным колесом при регулировании минимально возможного давления подпора в гидравлических цилиндрах навесного устройства трактора

(рисунок 2). Используя данную конструкцию, усложняется не только гидронавесная система трактора, но и вся конструкция агрегируемой машины, что в свою очередь отражается на увеличении ее итоговой стоимости.

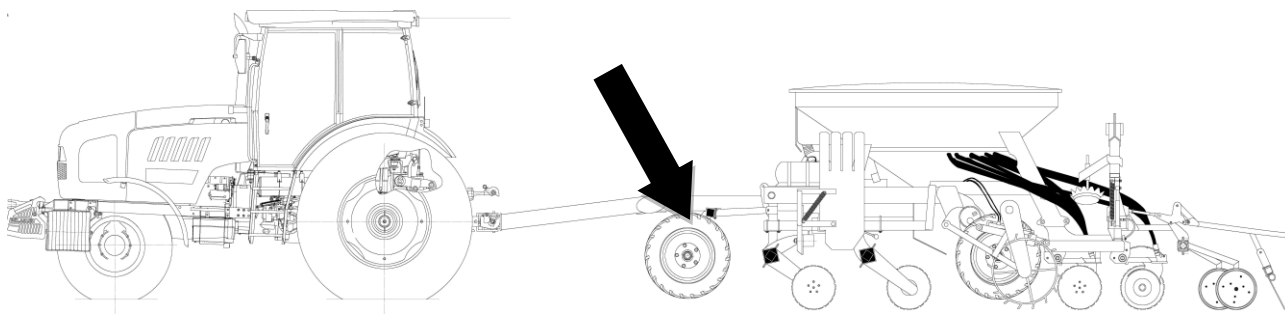


Рисунок 2 – Схема агрегата почвообрабатывающе-посевного модели АППМ-6 с передним опорным колесом

Ряд производителей для сокращения влияния имеющихся погрешностей при выполнении сева не предусматривают передних опорных колес (не во всех случаях), а используют навесную машину с короткой базой (рисунок 3). Применение такой конструкции функционально ограничено несколькими функциями, как правило, не более одной.



Рисунок 3 – Сеялка пневматическая универсальная модели СПУ-6 навесная

На протяжении ряда последних лет использование в сельском хозяйстве энергонасыщенных тракторов только увеличивается, что позволяет развивать данное направление. Проектируются и работают на полях сельскохозяйственные машины большой массой или грузоподъемностью (свыше 10 000–15 000 кг), шириной 180

риной захвата от 6 до 18 метров, с габаритными размерами до 10–15 метров в длину. При использовании особенно таких машин необходимо предусматривать наличие устройства, отвечающего за сохранение оптимальной глубины посевов, но при этом оно не должно значительно увеличивать себестоимости машины и сохранять ее конкурентоспособность на рынке.

Для упрощения конструкции, снижения издержек и повышения конкурентоспособности сельскохозяйственных машин необходимо проведение работ, делающих возможным решение данной задачи другими методами.

В этой связи весьма актуальным является применение способа бесконтактного копирования рельефа поверхности поля с использованием акустических методов измерения расстояния, реализованном на почвообрабатывающем посевном многофункциональном агрегате модели АПП-6М «Берестье» с тракторами тягового класса 5 («БЕЛАРУС–2522», «БЕЛАРУС–3022» и др.). В рамках полевых испытаний поведена проверка функционирования электрогидравлической системы высотного позиционирования в составе посевного агрегата и дана оценка качества заделки семян.

Экспериментальные данные, полученные при сравнительных испытаниях почвообрабатывающего посевного многофункционального агрегата АПП-6М «Берестье» с трактором «БЕЛАРУС-3022», приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Результаты сравнительных испытаний посевного агрегата

Наименование показателя	Значение показателя по результатам испытаний	
	Позиционное регулирование навесного устройства	Высотное регулирование навесного устройства
Глубина взрыхленного слоя, см	4,6	3,9
Глубина заделки семян (среднее значение), см	4,5	3,5
Расстояние между растениями в ряду, см	21,4	19,6
Количество растений на 1 м. п., шт.	4,9	5,5
Количество семян, заделанных в рабочем слое и двух смежных с ним слоях толщиной 1...10 см., %	67,8	72,3
Ширина междурядий (расстояние между сошниками), см	62,4	62,4
Ширина ленты, см	12,5	12,5
Количество рядов в ленте, шт.	2	2
Неравномерность по глубине почвообработки, см	± 3,9	± 2,1

В результате сравнительных полевых испытаний установлено, что посевным агрегатом, оснащённым системой бесконтактного высотного регулирования, заделывание семян в рабочем слое увеличивается на 4,5 % по сравнению с позиционным регулированием навесного устройства. Это позволило уменьшить до 2 раз неравномерность заделки семян сельскохозяйственных культур и повысить их урожайность.

Список цитированных источников

1. Бесконтактное копирование рельефа поверхности поля рабочими органами сельхозмашин с использованием акустических методов / Е. Я. Строк [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2012. – № 6. – С. 35–40.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

Целью работы является пополнение имеющихся знаний для исследования динамических процессов, возникающих при обработке материалов резанием и определение их связи с характеристиками, определяющими режущие свойства инструментов в процессе снятия припуска.

Задачи: 1) расширить имеющиеся сведения по вышеописанному вопросу;
2) провести эксперимент и обработать полученные данные.

В настоящее время в связи с ростом промышленного производства всё большее влияние уделяется совершенствованию технологических процессов производства деталей с целью сохранения качества и уменьшения себестоимости изготовления. Для этого необходимо изучать процессы, протекающие при резании материалов.

В процессе механической обработки в элементах технологической системы могут возникать колебания, называемые вибрациями. Вибрация – это механические колебания твердого тела. Основным вид вибраций – это колебания или повторяющееся движение объекта около положения равновесия. Это называется общей вибрацией, потому что тело перемещается как единое целое.

Изучение физических причин возникновения колебаний при резании является важной задачей. Из практики известно, что при различных условиях обработки могут появляться колебания технологической системы разной частоты. Чаще всего деталь имеет низкочастотные колебания, а инструмент – высокочастотные. При возникновении вибраций снижаются качественные показатели обработанной поверхности, а также и период стойкости режущего инструмента.

Во время работы любого металлообрабатывающего станка возникают различные виды колебаний – вынужденные, параметрические, релаксационные и самовозбуждающиеся, или автоколебания.

Вынужденные колебания возникают вследствие наличия в системе внешней периодической силы, вызывающей колебательный процесс с частотой, равной частоте возмущающей силы. Причиной появления возмущающей силы могут быть силы, обусловленные процессом резания материала (прерывистость процесса резания, неравномерность припуска, оставленного на обработку), а также силы, возникающие в технологической системе вне зоны резания (дисбаланс вращающихся частей станка, детали и инструмента, дефекты зубчатых и ременных передач станка, передача колебаний станку от другого работающего поблизости оборудования и т. д.).

Кроме вибрации можно исследовать акустический сигнал, возбуждаемый работающей технологической системой. Из априорной информации известно, что как первый, так и второй вид сигнала дают приближенную друг к другу информацию по вопросу состояния процесса резания.

Наиболее эффективным направлением в контроле процессов резания является их мониторинг (непрерывный контроль). Все методы контроля текущей

работоспособности технологической системы можно условно разделить на четыре группы:

1) объектом контроля является режущий инструмент (размеры площадки износа, температура, геометрические параметры настройки инструмента);

2) объектом контроля является обрабатываемая деталь (точность, шероховатость поверхности, температура на поверхности);

3) объектом контроля является снятый с поверхности припуск (форма стружки, направление схода, температура);

4) объектом контроля является процесс резания (длительность цикла обработки, мощность резания, силы резания, вибрации, акустическая эмиссия, ЭДС в зоне резания).

Одновременно с этими методами, представленными в этих группах, можно поделить на методы прямого контроля, основанные на регистрации износа инструмента, и косвенного контроля, использующие физические явления, возникающие в процессе резания и износа инструмента.

Обеспечение надежности и эффективности процесса мехобработки является невозможным без информации о текущем состоянии режущего инструмента и, прежде всего, количественной оценки интенсивности снижения режущих свойств инструмента. Труднодоступность зоны резания для непосредственного наблюдения вынуждает строить модели и судить о процессах по косвенным параметрам.

В научной работе по представленной теме было выбрано такое явление процесса резания, как вибрация.

Для углубления знаний о явлениях, возникающих при резании, были проведены и изучены экспериментальные исследования, в ходе которых обнаружены некоторые закономерности влияния величины износа режущего инструмента на выбранный параметр.

Для выполнения задач, поставленных в рамках одного из этапов научно-исследовательской работы, были проведены экспериментальные исследования, в процессе которых деталь, в качестве которой использовался пруток из стали 35, обрабатывалась токарным проходным упорным резцом 2103-0058 ГОСТ 18879-73, оснащённым пластиной из твёрдого сплава Т15К6.

Обработка производилась на токарно-винторезном станке, технические характеристики которого позволяют реализовать необходимый диапазон изменения режимов резания при проведении опытов.

Для получения вибрационного сигнала в качестве первичного преобразователя использован акселерометр со встроенной электроникой АР-98, который устанавливался на резцедержателе (см. рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема установки акселерометра при проведении эксперимента

Измерение параметров вибрационного и акустического сигналов, обработка и управление процессами осуществлялось с использованием аппаратно-программного комплекса ВИКМА-2.

В рамках проведённого эксперимента производилось обтачивание заготовки при одном и том же режиме резания для исключения влияния его на снимаемый выходной параметр.



Рисунок 2 – Проведение эксперимента для сбора данных

Износ инструмента осуществлялся в ходе обработки заготовки для получения реальных значений. Опыты проводились неоднократно для исключения случайных погрешностей, возникающих при проведении измерений.

Через заранее определённые промежутки времени осуществлялась оценка величины и характера износа инструмента путём измерения площадки износа по задней поверхности режущей части резца. Измерение производилось при помощи инструментального микроскопа УИМ-23.



Рисунок 3 – Измерение площадки износа на микроскопе УИМ-23

В ходе проведения эксперимента была накоплена база данных, фиксировавшихся ЭВМ, в виде группы файлов, которые затем обрабатываются и анализируются.

Вышеописанные данные возможно произвести в виде графиков, спектров и трехмерном представлении Габора с помощью программы «VibroAnalizator 1.0.7».

В ходе эксперимента были получены вибрационные и акустические сигналы после различной величины пути резания. При первичном рассмотрении можно отметить, что с увеличением времени работы инструмента происходит изменение обоих сигналов (на отрезке времени первичного, нормального и катастрофического износа), что еще раз доказывает правильность предположений,

выдвинутых в начале исследований. Анализ полученных в эксперименте данных будет проводиться на следующем этапе научно-исследовательской работы.

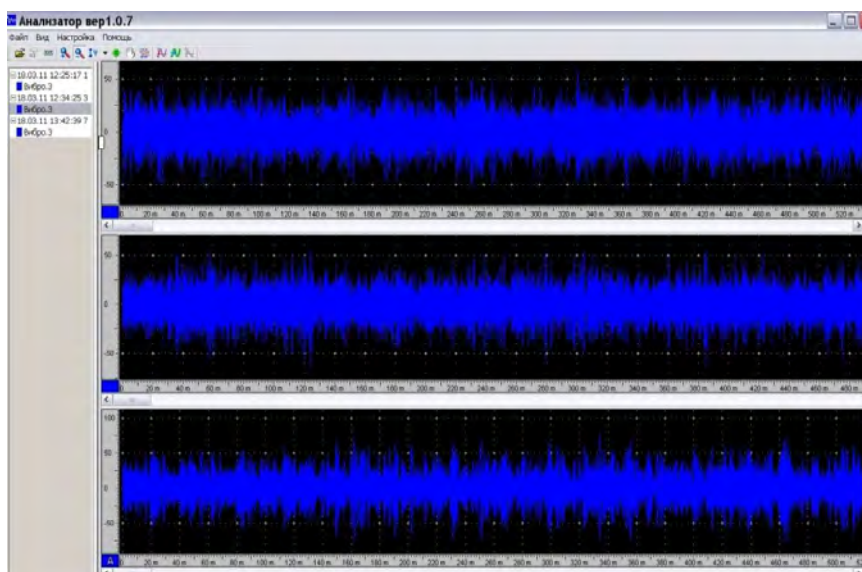


Рисунок 4 – Данные эксперимента в виде графика

Список цитированных источников

1. Жарков, И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. – М. : Машиностроение, 1986. – 184 с.
2. Теория резания / П. И. Ящерицын [и др.]. – Минск.: Новое знание, 2006. – 512 с.
3. Старков, В. К. Физика и оптимизация резания материалов / В. К. Старков. – М. : Машиностроение, 2009. – 640 с.
4. Грановский, Г. И. Резание металлов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М. : Высшая школа, 1985 – 304 с.

УДК 621.91.002

Вишневский А. И., Сульжиц В. И.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Медведев О. А.

УСЛОВИЕ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МАШИН РЕГУЛИРОВАНИЕМ КОМПЕНСАТОРАМИ РАЗНОЙ ДЛИНЫ

Метод регулирования широко используется для достижения высокой точности замыкающих звеньев длинных конструкторских сборочных размерных цепей машин в серийном производстве при экономически выгодных допусках составляющих звеньев. Он основан на быстром индивидуальном для каждого экземпляра собираемого узла изменении одного из составляющих звеньев – компенсатора. Изменение размера неподвижного компенсатора осуществляется ступенчато, выбором компенсатора требуемой длины из заранее изготовленного комплекта. В идеальном случае степень компенсации (разность размеров соседних компенсаторов в комплекте) равна допуску замыкающего звена, а число ступеней компенсации равно отношению величины компенсации к допуску замыкающего звена [1, 2].

Анализ способов расчета сборочных размерных цепей, используемых при достижении точности сборки методом регулирования [1, 2, 3, 4 и др.], позволил

выявить их существенные недостатки: 1) степень компенсации определяется без учета погрешностей сборочных работ и оснастки; 2) условие достижения точности сборки не учитывают погрешности формирования размера компенсатора; 3) в величину компенсации, кроме допусков составляющих звеньев сборочной конструкторской размерной цепи, включается допуск компенсатора и погрешности сборочных работ и оснастки [1, 2], несмотря на то, что компенсатор не может компенсировать свои погрешности и погрешности формирования его размера, влияющие на его выбор; 4) не учитывается случайный характер составляющих величины компенсации и погрешностей, определяющих точность сборки [4].

Предлагаемая в данной работе методика определения степени и числа ступеней компенсации, с учетом погрешностей сборочных работ, определяющих отклонение длины выбранного компенсатора от требуемой длины компенсатора для получения желаемого значения замыкающего звена конструкторской размерной цепи, позволяет исправить отмеченные недостатки отмеченных ранее методик и повысить объективность расчетов размеров и числа компенсаторов.

Длина неподвижного компенсатора, требуемого для отдельного экземпляра собираемого изделия, в большинстве случаев определяется измерением места под компенсатор, полученного при предварительной сборке изделия без компенсатора, при которой на место замыкающего звена устанавливается его материальный эталон, размер которого равен желаемому значению замыкающего звена. Если длина выбранного компенсатора равна размеру измеренного места, то после окончательной сборки изделия с таким компенсатором замыкающее звено будет равно размеру эталона. В противном случае отклонение компенсатора от размера указанного места приведет к такому же по величине отклонению замыкающего звена от эталона. При описанном методе определения длины компенсатора устраняется зависимость отклонения замыкающего звена от отклонений составляющих звеньев конструкторской размерной цепи, являющихся размерами деталей изделия, и возникает зависимость отклонения замыкающего звена только от отклонения размера выбранного компенсатора.

Для определения поля рассеяния компенсатора следует выявить и решить технологическую сборочную размерную цепь, которая формируется на этапе предварительной сборки изделия и определения длины требуемого компенсатора. Замыкающим звеном в ней является толщина выбранного компенсатора, а составляющими звеньями, кроме размеров деталей изделия, также являются размеры используемой сборочной оснастки (материальный эталон замыкающего звена) и погрешности выполнения сборочных работ, необходимых для определения размера компенсатора. В этих условиях поле рассеяния величины компенсатора в пределах партии собираемых изделий будет складываться из полей рассеяния всех составляющих звеньев технологической размерной цепи. Однако целенаправленным, индивидуальным для отдельного экземпляра изделия, изменением длины компенсатора возможно компенсировать только отклонения той части составляющих звеньев технологической цепи, которые имеют стабильные значения для этого экземпляра. Такими звеньями являются размеры штатных деталей изделия (кроме компенсатора). Остальные звенья технологической размерной цепи, влияющие на размер выбранного компенсатора, могут приобретать случайные значения при многократной предварительной сборке

одного и того же экземпляра изделия. Поэтому их невозможно компенсировать целенаправленным изменением размера компенсатора. К таким звеньям относятся: размер материального эталона замыкающего звена с полем рассеяния δ_s (в случае наличия нескольких экземпляров эталона); погрешность установки эталона $\delta_{yэ}$, вызванная деформацией стыков эталона и его возможным перекосом при предварительной сборке; погрешность измерения места под компенсатор δ_u , погрешность изготовления компенсатора $\delta_{ик}$, погрешность выбора компенсатора δ_e (отклонение номинальной длины выбранного компенсатора от результата измерения места под компенсатор). Сумма указанных случайных отклонений и погрешностей будет определять отклонение выбранного размера компенсатора от размера места под компенсатор, сформированного в идеальных условиях без погрешности эталона и установки эталона, и, следовательно, будет определять отклонение замыкающего звена конструкторской цепи от его желаемого (эталонного) значения.

Проведенный анализ влияния элементов технологической сборочной размерной цепи на погрешность размера выбранного компенсатора, а следовательно, и на погрешность замыкающего звена сборочной конструкторской цепи, позволяет составить выражение для расчета величины компенсации за счет изменения размера компенсатора и условие достижения точности сборки при методе регулирования неподвижными компенсаторами разной длины, отражающее соотношение допуска замыкающего звена конструкторской размерной цепи и погрешностей, которые нельзя компенсировать выбором компенсатора.

Величину компенсации V следует определять как сумму полей рассеяния звеньев, являющихся размерами деталей изделия, участвующих в предварительной сборке. Приняв допущение о нормальном законе распределения слагаемых полей рассеяния, в соответствии с правилами теоретико-вероятностного расчета размерных цепей [1], получим

$$V = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j^2}, \quad (1)$$

где ω_j – поле рассеяния j -го звена конструкторской размерной цепи;

m – число звеньев конструкторской размерной цепи (кроме компенсатора).

Из анализа технологической размерной цепи следует, что замыкающее звено конструкторской размерной будет гарантированно попадать в пределы заданного для него допуска TA_Δ , если этот допуск будет больше суммы погрешностей, вызывающих отклонение размера места под компенсатор от толщины компенсатора в пределах использования компенсатора отдельной ступени. Применив правило сложения полей рассеяния нормально распределенных случайных величин для указанных ранее погрешностей сборочных работ и оснастки, получим условие достижения точности сборки регулированием компенсаторами разной длины

$$TA_\Delta \geq \sqrt{\delta_s^2 + \delta_{yэ}^2 + \delta_u^2 + \delta_{ик}^2 + \delta_e^2}. \quad (2)$$

Таким образом, при высокой точности сборочной оснастки, измерительных средств и компенсаторов можно обеспечить высокую точность сборки при

невысокой точности составляющих звеньев конструкторской размерной цепи (кроме компенсатора).

Большое влияние на точность сборки оказывает погрешность выбора компенсатора δ_6 , ближайшего по размеру к измеренной полости под компенсатор. При строгом соблюдении сборщиком технологической дисциплины невозможно ошибочно выбрать компенсатор, отличающийся от полости больше чем на разность размеров соседних компенсаторов в комплекте, то есть больше чем на одну ступень компенсации. Поэтому максимальное значение погрешности выбора компенсатора можно принять равным ступени компенсации ($\delta_{6max} = S$). Это позволяет определять значение ступени компенсации во взаимосвязи с другими погрешностями, определяющими точность сборки. С целью минимизации числа компенсаторов в комплекте на одно изделие рационально иметь наибольшее возможное значение ступени компенсации, при котором выражение (1) преобразуется в равенство

$$S = \sqrt{TA_{\Delta}^2 - \delta_9^2 - \delta_{y9}^2 - \delta_u^2 - \delta_k^2}. \quad (3)$$

Исходя из полученных выражений для условия достижения точности сборки и ступени компенсации, можно сделать вывод о том, что использование традиционных методик расчета размерных цепей при достижении точности сборки методом регулирования [1, 2, 3 и др.], в которых принимается $S = TA_{\Delta}$, не гарантирует достижения точности сборки при неизбежно возникающих погрешностях сборочных работ.

Число компенсаторов в комплекте, изготавливаемом для каждого экземпляра изделия (число ступеней компенсации), определяется делением величины компенсации на ступень компенсации. Примененный при расчете величины и ступени компенсации способ сложения полей рассеяния случайных величин позволяет существенно уменьшить число требуемых ступеней компенсации, по сравнению со случаем арифметического сложения полей рассеяния, при незначительной доле бракованных изделий 0,27 %.

Для определения длин компенсаторов разных ступеней составлены схемы компенсации наглядно показывающие их взаимосвязи с границами замыкающего звена, границами величины компенсации, погрешностями сборочных работ и оснастки для трех типовых сочетаний, охватывающие все случаи реальных сборочных размерных цепей: увеличивающее суммарное составляющее звено (с полем рассеяния I) и уменьшающий компенсатор; увеличивающее суммарное составляющее звено и увеличивающий компенсатор; уменьшающее суммарное составляющее звено и увеличивающий компенсатор.

Предлагаемая методика позволяет повысить объективность расчетов величины компенсации, ступени компенсации, числа неподвижных компенсаторов в комплекте на одно изделие путем учета влияния случайных погрешностей сборочных работ и оснастки. Ее использование при проектировании техпроцессов сборки машин позволит повысить эффективность технологической подготовки производства.

Список цитированных источников

1. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учебник / А. А. Маталин. – 5-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2020. – 512 с.: ил.
2. Солонин, И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин. – М. : Машиностроение, 1980 – 110 с.: ил.

3. Технология машиностроения (специальная часть): учебник для машиностроительных специальностей вузов / А. А. Гусев [и др.] – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с.

4. Балакшин, В. С. Основы технологии машиностроения / В. С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1969. – 358 с.

УДК 004.94:539.3

Сосновский А. А., Ярмак М. А.

Научные руководители: к. ф.-м. н., доцент Веремейчик А. И.;

к. т. н., доцент Хвисевич В. М.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЛОКАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ НОЖА ЛИСТОВЫХ ГИЛЬОТИННЫХ НОЖНИЦ АКНА-3225

В реальных условиях работы элементы кузнечно-прессового оборудования подвергаются воздействиям агрессивной среды, механическим усилиям (центробежные силы, силы трения и т.д.). Для повышения надежности и долговечности таких деталей используются различные методы. Термическое упрочнение является одним из наиболее эффективных способов увеличения ресурса их работы, а также снижения материалоемкости [1]. Из всех способов такой термообработки можно выделить поверхностную закалку деталей при помощи движущейся плазменной струи (дуги) [1–3]. В отличие от традиционных способов термообработки воздействие концентрированной плазменной струи включает одновременное тепловое, механическое и радиационное воздействие [4]. Суть поверхностного плазменного упрочнения состоит в быстром нагреве поверхности металла до аустенитного состояния и интенсивном охлаждении с целью получения высокой твердости, износостойкости и прочности приповерхностного слоя в сочетании с вязкой сердцевиной самого тела. Такое упрочнение реализуется путем локальной закалки с помощью быстро перемещающегося высокоинтенсивного концентрированного источника тепла (плазменной струи), генерируемой плазмотроном постоянного тока мощностью до 1,5 кВт и характеризуется рядом преимуществ:

- достаточно малой глубиной закалки до 0,3–0,7 мм и лишь в местах износа;
- твердость и износостойкость поверхностного слоя ножа значительно выше, чем при объемной закалке;
- отсутствие термических деформаций благодаря локальности и кратковременности взаимодействия струи плазмы с поверхностью металла [5].

После распространения температурного поля в глубину детали на поверхности появляются сжимающие остаточные напряжения, которые могут достигать значительных величин. Величина и характер распределения этих термонапряжений изменяются в течение процесса нагрева и охлаждения. Основная причина возникновения термических напряжений – неравномерный нагрев или охлаждение различных объемов изделия. Временные (соответствующие определенному моменту времени) и остаточные (сохраняющиеся после полного выравнивания температур) структурные термические напряжения могут привести к образованию дефектов в подвергающихся термообработке изделиях. Кроме того, в последнее время появилась необходимость в совершенствовании некоторых

элементов оборудования для плазменной закалки в связи с появлением новых материалов, скоростных методов их обработки, а также предъявляемых требований к качеству обрабатываемых поверхностей. Все это с учетом дорогостоящего оборудования для такого рода исследований требует разработки компьютерных моделей процесса плазменного упрочнения, позволяющих варьировать режимами и параметрами процесса. Использование систем автоматизации инженерных расчетов (CAE-систем) на современном этапе является одним из наиболее эффективных способов решения такого рода задач по исследованию напряженно-деформированного состояния тел, оценке прочностных характеристик и прогнозирования долговечности конструкций. Программная система конечно-элементного анализа ANSYS является одной из наиболее эффективных CAE-систем. Программное обеспечение ANSYS со специальным интерфейсом ANSYS Workbench позволяет успешно решать различные задачи механики деформируемого твердого тела, теплофизики и т. д. [5].

Для разработки оптимальных режимов термообработки проведено исследование температурных полей и напряжений при упрочнении зоны режущей кромки ножа. Для моделирования и расчетов использовалась конечно-элементная расчетная платформа ANSYS Workbench 2019 R2. Все физические и термодинамические свойства материала, зависящие от температуры, задавались в табличном виде с помощью модуля управления материалами, представленном в ANSYS Workbench элементом Engineering Data, входящим в структуру блока инженерного анализа.

Решение нестационарной задачи термоупругости на базе ANSYS Mechanical Enterprise проводится в два этапа. На первом этапе в модуле Transient Thermal проводится анализ температурного поля на основе решения задачи нестационарной теплопроводности. Проведено исследование теплового поля в теле ножа размерами $1080 \times 165 \times 45$ мм, изготовленного из молотовых поковок инструментальной, легированной стали 6ХВ2С ГОСТ 5950 при различных режимах теплового нагружения. Высокостойкие ножи (рисунок 1) являются режущим элементом автоматизированного комплекса для резки листов АКНА-3225, которые используются для рубки черного и цветного листового проката толщиной от 0.1 до 35 мм. Химический состав стали приведен в таблице 1.

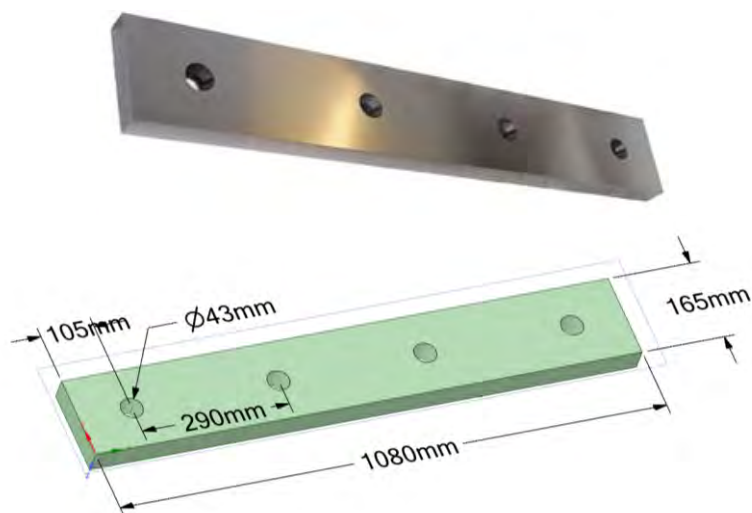


Рисунок 1 – Нож

Таблица 1 – Химический состав стали 6XB2C в %

Ca	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	Cu	Fe
0,55...0,65	0,5...0,8	0,15...0,4	до 0,35	до 0,03	до 0,03	1...1,3	до 0,3	2,2...2,7	до 0,3	~93

При нагреве поверхности металла плазменной струей осуществляется за счет конвективного и лучистого теплообмена. Конвективный нагрев поверхности обусловлен переносом энергии плазменной струи под действием теплопроводности, диффузии, и его доля составляет 90–95 % от общего баланса энергии. Плотность конвективного теплового потока определяется из выражения:

$$q = \alpha \cdot (T_{nl} - T_{нов}), \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи ($\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$), который выражается через критериальные зависимости (число Рейнольдса, Нуссельта, Прандтля и т. д.);

T_{nl} – температура плазменной струи на внешней границе пограничного слоя ($К$);

$T_{нов}$ – температура поверхности ножа ($К$). Распределение теплового потока в пятне нагрева описывается законом нормального распределения Гаусса.

Исследование теплового потока на поверхности ножа при воздействии плазменной струи проводилось по известным параметрам процесса плазменной закалки в соответствии с разработанной методикой. При мощности плазмотрона $N = 1 кВт$ с КПД, равным 0,8, отношении расстояния от среза сопла до термообрабатываемой поверхности к диаметру сопла $\frac{h}{d} = 2$, массовом расходе га-

за $G = 0,002 \frac{кг}{с}$ и температуре газа на выходе из сопла $T = 5000 К$, с использованием уравнения Менделеева-Клапейрона определена плотность газа, составившая $\rho = 0,1 \frac{кг}{м^3}$, а также скорость потока на срезе сопла плазмотрона $v_0 = 1500$ м/с. При данных условиях эксперимента плотность теплового потока на поверхности детали составила $q = 7 \cdot 10^6 \frac{Вт}{м^2}$.

Конечно-элементная модель ножа показана на рисунке 2.

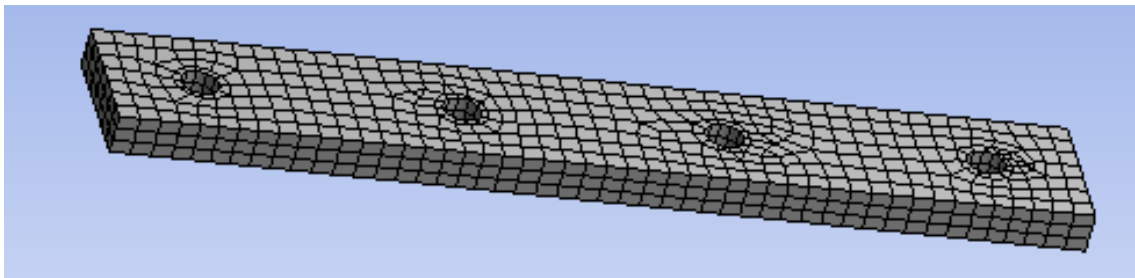


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель ножа

Для моделирования распространения температуры вглубь ножа используется макрос для ANSYS Mechanical на языке программирования APDL [5], в котором задаются характеристики тепловой нагрузки, скорость движения источника нагре-

ва, координаты его начального положения, время движения и др. В соответствии со скоростью движения плазменной струи к узлам конечно-элементной модели вдоль режущего лезвия пошагово прикладывалась температурная нагрузка. Распределение теплового потока в пятне нагрева задавалось зависимостью:

$$q = q_H \exp \left[\left(-\frac{x^2 + (y - vt)^2}{r_H^2} \right) \right], \quad (2)$$

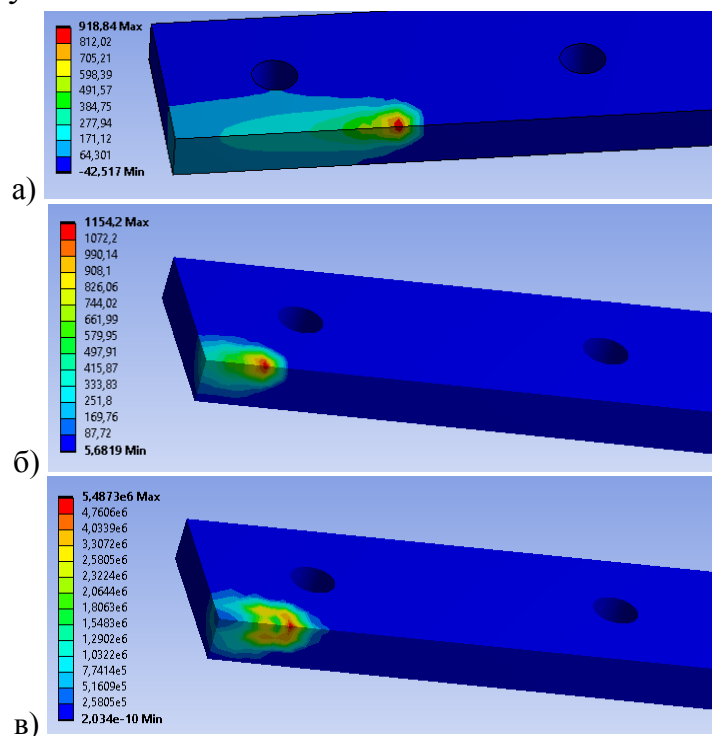
где q_H – плотность теплового потока на поверхности ($\frac{Вт}{м^2}$);

r_H – радиус пятна нагрева (м);

x, y – координаты центра пятна нагрева (м);

v – скорость движения источника тепла (м/с).

Начальная температура принималась равной 20 °С. На поверхностях модели ножа задавалась конвекция с различными коэффициентами теплоотдачи $\alpha = (5-30) \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$. Расстояние от центра пятна нагрева до вершины инструмента составляло 2–4 мм и в процессе перемещения источника тепла не менялось. Численный эксперимент проводился при диаметрах пятна нагрева $d = (2-5) мм$ и скоростях движения источника тепла $v = (2-20) мм/с$. В результате теоретических исследований модели в широком диапазоне параметров было получено решение задачи нестационарной теплопроводности. Некоторые результаты приведены на рисунке 3.



а) $V = 15 мм/с, t = 42,1 с$

б, в) $V = 5 мм/с, t = 10 с$

Рисунок 3 – Распределение поля температуры (°С) (а, б) и теплового потока ($Вт/м^2$) (в) на поверхности ножа, диаметр пятна нагрева $d = 3 мм$, $q_H = 7 \cdot 10^6 Вт/м^2$

На втором этапе в модуле Static Structural на базе ANSYS Mechanical решается связанная задача термоупругости по исследованию напряженно-деформированного состояния ножа при воздействии движущегося концентрированного источника тепла. При определении напряжений и деформаций нож закреплялся по нижней плоскости для ограничения перемещения в направлении, перпендикулярном направлению движения струи, и по отверстиям. Полученные ранее результаты теплового анализа сохраняются в отдельном файле и используются в качестве внешней нагрузки при решении термоупругой задачи. Некоторые результаты статического анализа приведены на рисунке 4.

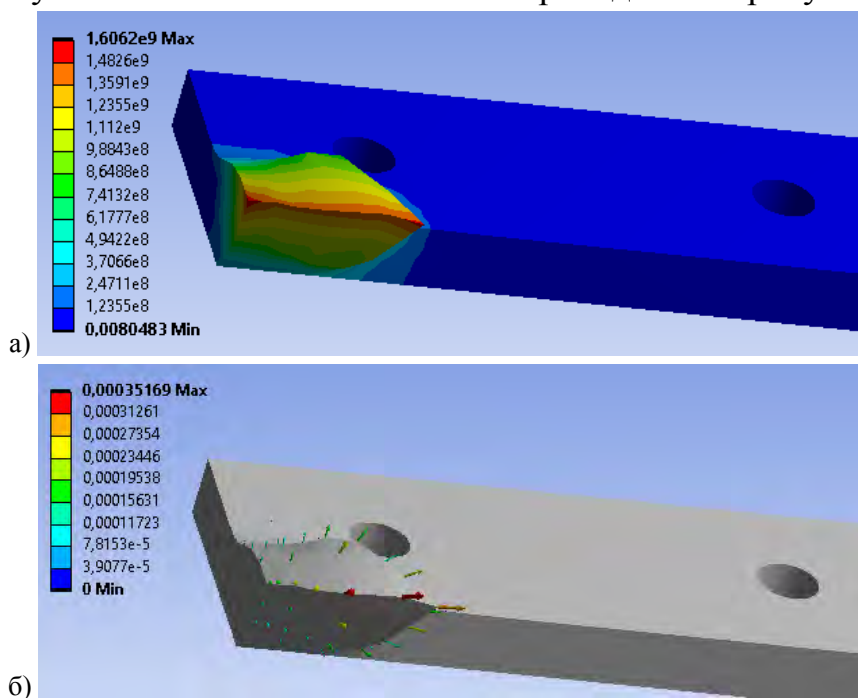


Рисунок 4 – Типичное распределение эквивалентных напряжений по Мизесу (а) (Па) и векторное поле перемещений (б) (м) в конечно-элементной модели ножа при температурном нагружении $V = 10$ мм/с, $d = 3$ мм, $q_H = 7 \cdot 10^6$ Вт/м²

Полученные результаты нестационарного теплового и статического анализа использованы для определения оптимальных режимов работы плазмотрона.

Список цитированных источников

1. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н. В. Спиридонов [и др.]; под общ. ред. В. И. Чачина. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. – 155 с.
2. Тюрин, Ю. Н. Плазменные упрочняющие технологии / Ю. Н. Тюрин. – К. : Наукова думка, 2008. – 215 с.
3. Плазменное поверхностное упрочнение / Л. К. Лещинский [и др.]; под общ. ред. Л. К. Лещинского. – Киев : Тэхніка, 1990. – 109 с.
4. Крауз, В. И. Энциклопедия низкотемпературной плазмы / В. И. Крауз, Ф. Симоне, Д. Моуренас; гл. ред. В. Е. Фортов. Сер. Б “Справочные приложения, базы и банки данных”. Тематический том IX-3. Радиационная плазмодинамика. – 2007. – 541 с.
5. Веремейчик, А. И. Исследование температурного поля и НДС ножей дробильной машины при поверхностном плазменном упрочнении / А. И. Веремейчик, В. М. Хвисевич, М. И. Сазонов // Механика. Исследования и инновации / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2021. – Вып. 14. – С. 29–40.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАСЧЕТУ РЕСУРСА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Номинальный ресурс подшипников L_{10} , который соответствует 90 % вероятности безотказной работы и определяется для подшипников, изготовленных из широко используемого материала хорошего качества при хорошем качестве изготовления и работающих в нормальных условиях эксплуатации, может значительно отличаться от реального срока службы современных высококачественных подшипников в определённых условиях эксплуатации. Реальный срок службы подшипника зависит от таких факторов, как условия смазывания, степень загрязнённости, наличие перекоса, правильность монтажа.

При нагрузке ниже некоторого определенного значения современные высококачественные подшипники могут достигать бесконечного ресурса, если условия смазки, чистота и другие условия эксплуатации являются благоприятными.

Для подшипников качения из обычно используемого материала хорошего качества и при хорошем качестве изготовления предел усталостного напряжения достигается при контактном напряжении, приблизительно равном 1500 МПа [1]. При практическом использовании подшипников контактные напряжения оказываются больше, чем 1500 МПа, при этом условия эксплуатации вызывают дополнительные напряжения, что приводит к дальнейшему снижению ресурса подшипника.

Для упрощения практических расчетов вместо предела усталостного напряжения введено понятие предела усталостной нагрузки C_u , который определяется как нагрузка, при которой в наиболее нагруженном контакте дорожки качения достигается предел усталостного напряжения σ_u .

Если смазочный материал загрязнен твердыми частицами, то в результате перекачивания этих частиц могут образовываться остаточные вмятины на дорожке качения. В местах этих вмятин происходит повышение локального напряжения, которое ведет к снижению ресурса подшипника. Это снижение ресурса вследствие загрязнения масляной пленки учитывается коэффициентом загрязнения e_c . Снижение ресурса в результате присутствия твердых частиц в масляной пленке зависит от таких факторов, как тип, размер, твердость и количество частиц; толщина масляной пленки; размер подшипника.

Эффективность смазочного материала главным образом определяется степенью разделения контактирующих поверхностей качения. Для образования соответствующей разделительной смазочной пленки смазочный материал должен обладать определенной минимальной вязкостью при достижении подшипником рабочей температуры. Условие разделения смазочным материалом характеризуется относительной вязкостью k , являющейся отношением фактической кинематической вязкости ν к номинальной кинематической вязкости ν_1 , необходимых для достижения надлежащих условий смазки. Значение кинематической вязкости ν принимают при рабочей температуре смазочного материала.

Для учета данных факторов в стандарте ГОСТ 18855-2013 (ISO 281:2007) [1] определяется модифицированный ресурс подшипников

$$L_{nm} = a_1 a_{ISO} L_{10}, \quad (1)$$

где a_1 – коэффициент модификации ресурса по вероятности безотказной работы;
 a_{ISO} – системный коэффициент модификации ресурса;
 L_{10} – номинальный ресурс, миллион оборотов.

Системный коэффициент модификации ресурса a_{ISO} учитывает следующие факторы: тип подшипника; предел усталостной нагрузки C_u ; эквивалентную динамическую нагрузку подшипника P ; условия смазки (тип смазочного материала, вязкость, частота вращения подшипника, размер подшипника, присадки); влияние окружающей среды (уровень загрязнения, уплотнения); параметры частиц загрязняющего вещества (твердость и размер частиц по отношению к размеру подшипника, метод смазывания, фильтрация); качество монтажа (соблюдение чистоты во время монтажа, например, тщательная промывка узла, фильтрация поставляемого масла).

Коэффициент a_{ISO} можно выразить в виде функции

$$a_{ISO} = f(e_c C_u / P; k), \quad (2)$$

где e_c – коэффициент загрязнения; k – относительная вязкость;
 v – фактическая кинематическая вязкость при рабочей температуре, $\text{мм}^2/\text{с}$;

$$k = v / v_1, \quad (3)$$

где v_1 – номинальная кинематическая вязкость, необходимая для достижения надлежащих условий смазки, $\text{мм}^2/\text{с}$.

При расчете предела усталостной нагрузки C_u учитывается влияние следующих факторов: тип, размер и внутреннюю геометрию подшипника; профиль тел качения и дорожек качения; качество изготовления; предел усталостного напряжения материала дорожек качения. Некоторые мировые производители подшипников, например шведская фирма SKF, в каталоге подшипников указывают предел усталостной прочности для конкретного типоразмера подшипника [2].

В ГОСТ 18855-2013 [1] приводятся усовершенствованный и упрощенный метод расчета предела усталостной нагрузки C_u , а также методы расчета коэффициента загрязнений, относительной вязкости k и коэффициента модификации ресурса a_{ISO} . На практике коэффициент модификации ресурса следует ограничить $a_{ISO} \leq 50$.

Ранее в соответствии с ГОСТ 18855-94 вместо понятия модифицированного ресурса использовался скорректированный расчетный ресурс $L_{на}$ [3]:

$$L_{на} = a_1 a_2 a_3 L_{10}, \quad (4)$$

где a_2 – коэффициент, корректирующий ресурс в зависимости от особых свойств материала и (или) конструкции подшипника;

a_3 – коэффициент режима смазки, корректирующий ресурс в зависимости от условий работы подшипника. В связи с тем, что коэффициенты a_2 и a_3 взаимосвязаны, в расчетах было принято использовать их произведение – коэффициент a_{23} [3]:

$$L_{на} = a_1 a_{23} L_{10}. \quad (5)$$

Рассмотрим особенности расчета коэффициента модификации ресурса a_{150} и отличие его величины от ранее используемого коэффициента a_{23} на примере установленного на тихоходном валу двухступенчатого коническо-цилиндрического горизонтального редуктора роликового конического одно-рядного подшипника легкой серии 7216А по ГОСТ 27365-87, который имеет следующие параметры: $d = 80$ мм; $D = 140$ мм; статическая грузоподъемность $C_{ор} = 114$ кН; частота вращения внутреннего кольца подшипника $n = 80$ мин⁻¹; эквивалентная динамическая нагрузка $P_r = 28,8$ кН. Параметры нагружения подшипника взяты из примера из пособия [4]. Для конического роликоподшипника для обычных условий работы, подшипник из стали ШХ15, полученной по обычной технологии, коэффициент $a_{23} = 0,65$ [3, 4].

Для расчета коэффициента модификации ресурса a_{150} определяем предел усталостной нагрузки C_u по упрощенной методике расчета [1, 2]. Для роликовых подшипников с $D_{pw} > 100$ мм формула имеет вид:

$$C_u = C_0 / 8,2 \cdot (100 / D_{pw})^{0,5}, \quad (6)$$

где C_0 – статическая грузоподъемность подшипника, кН;

D_{pw} – диаметр центральной окружности шариков или роликов, мм. Для подшипника 7216А $C_u = 13,26$ кН.

Определяем номинальную кинематическую вязкость ν_1 , необходимую для достижения надлежащих условий смазки по графику на рисунке 2 [1] в зависимости от частоты вращения кольца подшипника n и диаметра центральной окружности шариков или роликов D_{pw} . Для примера $\nu_1 = 11,3$ мм²/с.

Находим фактическую кинематическую вязкость ν при рабочей температуре по диаграмме [2] для рабочей температуры подшипника 70 °С. Для примера требуется смазка класса вязкости ISO VG 32 с минимальной фактической вязкостью $\nu = 32$ мм²/с при номинальной температуре 40 °С. В примере в редукторе использовалось масло индустриальное И-Г-А-46 по ГОСТ 17479.4-87 с фактической вязкостью $\nu = 46$ мм²/с при температуре 40 °С.

Далее определяется относительная вязкость k по формуле (3). Для примера относительная вязкость $k = 4,07$. В случае, если $k > 4$, следует принять $k = 4$.

Сложность в применении методики расчета модифицированного ресурса подшипников заключается в отсутствии точной информации о коэффициенте загрязнений для конкретных условий работы.

В работе [2] рекомендуется использовать ориентировочные значения коэффициента загрязнений e_c по [1]. Для типичного загрязнения при типичных условиях для подшипников без встроенных уплотнений, при проточной фильтра-

ции, наличии частиц износа и загрязнения из окружающей среды при $D_{pw} \geq 100$ мм коэффициента загрязнений e_c принимается от 0,2 до 0,4.

Далее определяем коэффициент модификации ресурса для радиальных и радиально-упорных роликовых подшипников по графику (см. рисунок 1) [1].

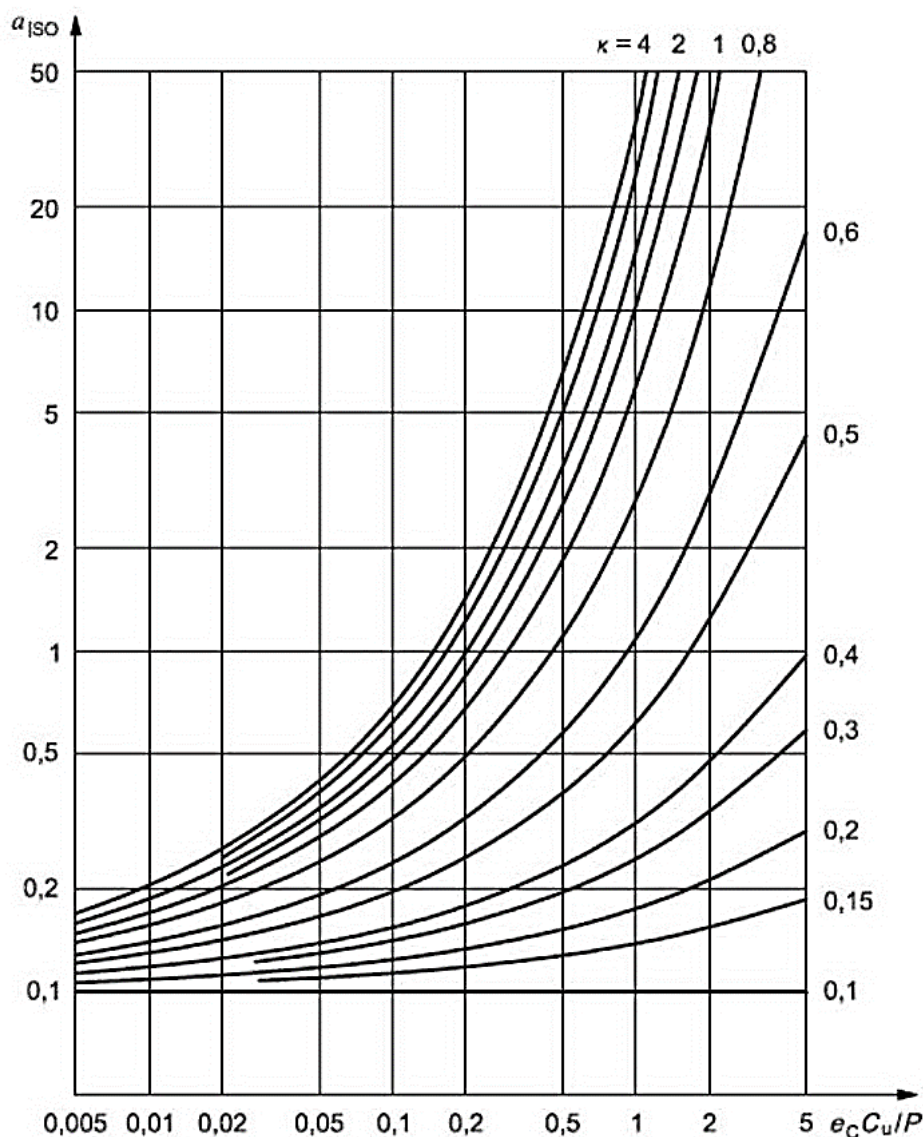


Рисунок 1 – Коэффициент модификации ресурса a_{150} для радиальных и радиально-упорных роликовых подшипников [1]

Для примера $a_{150} = 0,89$, что в 1,37 раза больше, чем применяемый ранее коэффициент $a_{23} = 0,65$. За счет использования системного коэффициента модификации ресурса a_{150} , учитывающего загрязнение и условия смазки, модифицированный ресурс подшипника при тех же условиях работы оказывается в 1,37 раза больше, что позволяет использовать подшипники более легких размерных серий.

Коэффициент $a_{23} = 0,9$ (т. е. практически совпадает с рассчитанным коэффициентом a_{150}), если принимать его для следующих условий применения подшипников: гарантированное наличие гидродинамического режима смазки и отсутствие повышенных перекосов колец [3].

Методика расчета модифицированного ресурса подшипников по ГОСТ 18855-2013 (ISO 281:2007) [1] может использоваться в учебный процесс при выполнении курсового проектирования по дисциплине «Детали машин».

Список использованных источников

1. Подшипники качения. Динамическая грузоподъемность и номинальный ресурс: ГОСТ 18855-2013 (ISO 281:2007, MOD). – Взамен ГОСТ 18855-94 ; введ. 01.08.2016. – Минск : Госстандарт : БелГИСС, 2016. – 49 с. : ил., табл.
2. Монтик, С. В. Особенности расчета модифицированного ресурса подшипников качения / С. В. Монтик // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сборник статей / Брестский государственный технический университет – Брест : Издательство БрГТУ, 2021. – С. 170–174.
3. Детали машин : учебник для вузов / Л. А. Андриенко [и др.]; под ред. О. А. Ряховского. – 4-е изд., перераб. и доп. – М : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 465 с. : ил.
4. Санюкевич, Ф. М. Детали машин. Курсовое проектирование: учебное пособие / Ф. М. Санюкевич. – 2-е изд., испр. и доп. – Брест : БрГТУ, 2004. – 473 с.

УДК 681.5

Коваль И. В.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Прокопеня О. Н.

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ ПОВОРОТА ЗВЕНА МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА

К приводам манипуляционных роботов предъявляются повышенные требования по точности и качеству переходных процессов. Переходные характеристики должны быть монотонными (без перерегулирования). Это должно обеспечиваться при любом положении руки робота и во всем диапазоне изменения масс манипулируемых объектов, что можно рассматривать как изменяющиеся в широких пределах внешние условия. В этом случае целесообразно применение адаптивных приводов, способных приспосабливаться к изменению внешних условий. Принципы построения данных приводов известны [1]. Учитывая, что параметры объекта управления заранее известны, целесообразно использовать самонастраивающуюся беспоисковую систему с эталонной моделью [2]. Эталонная модель может быть задана в виде передаточной функции апериодического звена, для которого переходная характеристика монотонна. Длительность переходного процесса в этом случае определяется постоянной времени звена, которую можно задавать по своему усмотрению.

Соответствующая математическая модель привода на основе двигателя постоянного тока, построенная в приложении SIMULINK программного пакета MATLAB представлена на рисунке 1. В данном приводе управляющее воздействие подается одновременно на эталонную модель и на вход системы. Выходной сигнал системы вычитается из выходного сигнала эталонной модели, а усиленный сигнал ошибки подается непосредственно на вход системы как компенсирующий. С увеличением коэффициента усиления выходной сигнал привода приближается к эталонному. Принятый способ адаптации является до-

вольно простым с точки зрения реализации, поскольку не требует изменения параметров настройки в процессе работы.

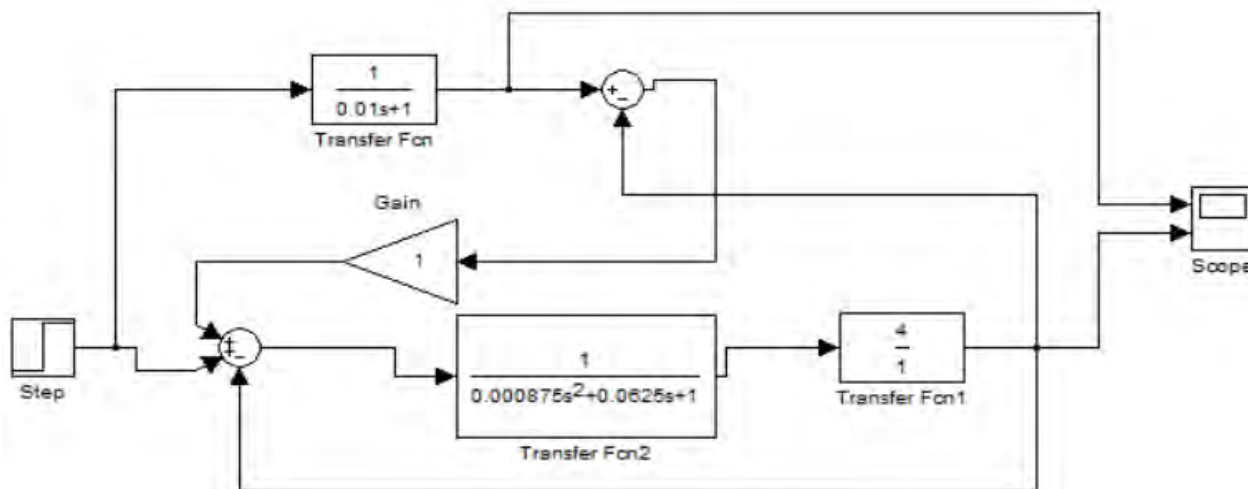


Рисунок 1 – Математическая модель адаптивного привода в приложении SIMULINK

Результат моделирования показан на рисунке 2. На осциллограф выведены сигналы с выхода эталонной модели и привода. Из приведенного рисунка следует, что переходные характеристики практически одинаковы, если не учитывать наличие высокочастотной составляющей колебаний скорости на выходе системы, устранить которую подбором коэффициента усиления не удастся. Наличие таких колебаний нежелательно, поскольку приводит к постоянной вибрации звена.

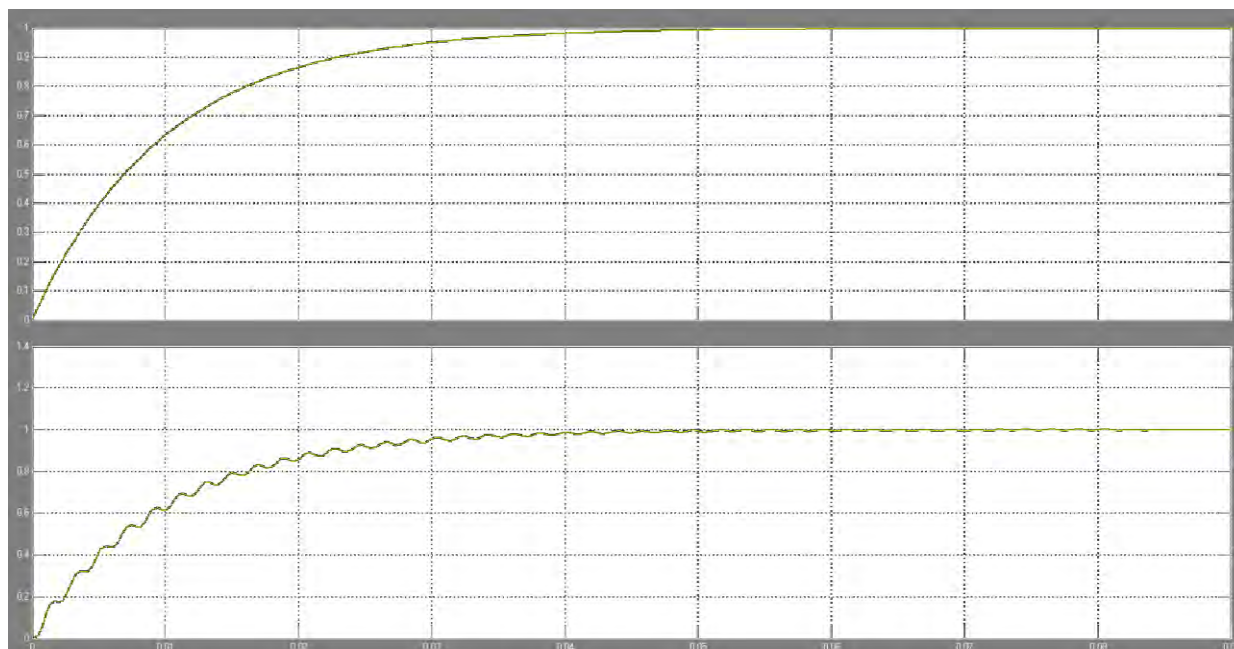


Рисунок 2 – Переходные характеристики эталонной модели и привода

Решить данную проблему удалось за счет использования пропорционально-дифференциального регулятора (ПД-регулятора) в основном контуре регулирования. Математическая модель привода с регулятором показана на рисунке 3.

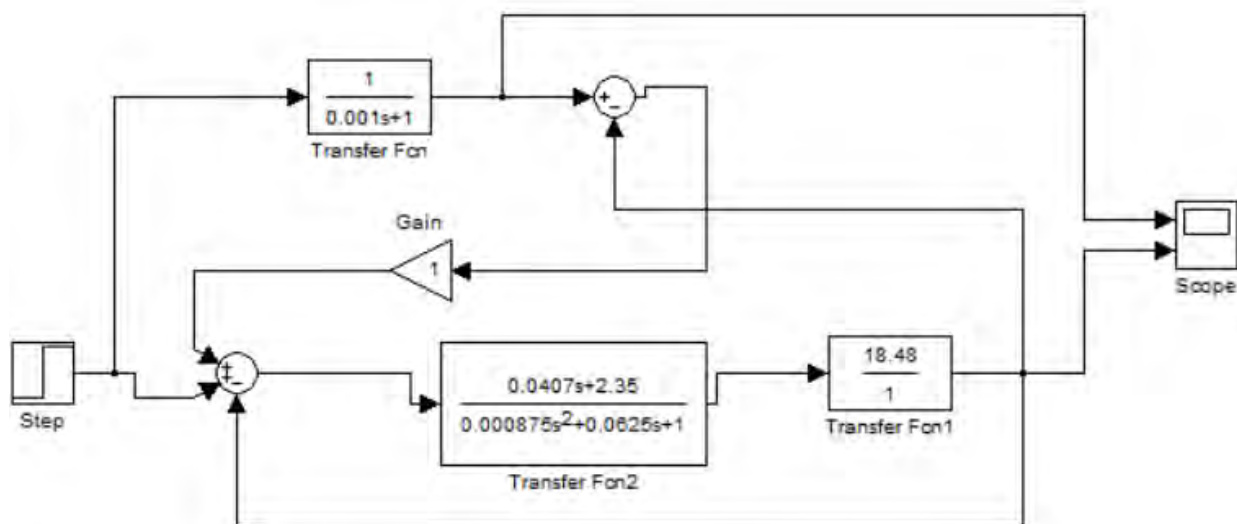


Рисунок 3 – Математическая модель привода с ПД-регулятором в приложении SIMULINK

Соответствующие переходные характеристики приведены на рисунке 4. Результаты показывают, что кривые полностью совпадают и являются гладкими, т. е. выходная переменная привода полностью повторяет сигнал, задаваемый эталонной моделью. Таким образом ПД-регулятор, установленный в основном контуре регулирования, позволяет устранить высокочастотную составляющую изменения скорости на выходе системы.

Результаты моделирования показали, что двукратное увеличение приведенного момента инерции привода, которое обусловлено увеличением массы манипулируемых грузов, не отражается существенно на переходной характеристике. Следовательно, привод способен обеспечить желаемое качество переходного процесса во всем диапазоне масс манипулируемых объектов.

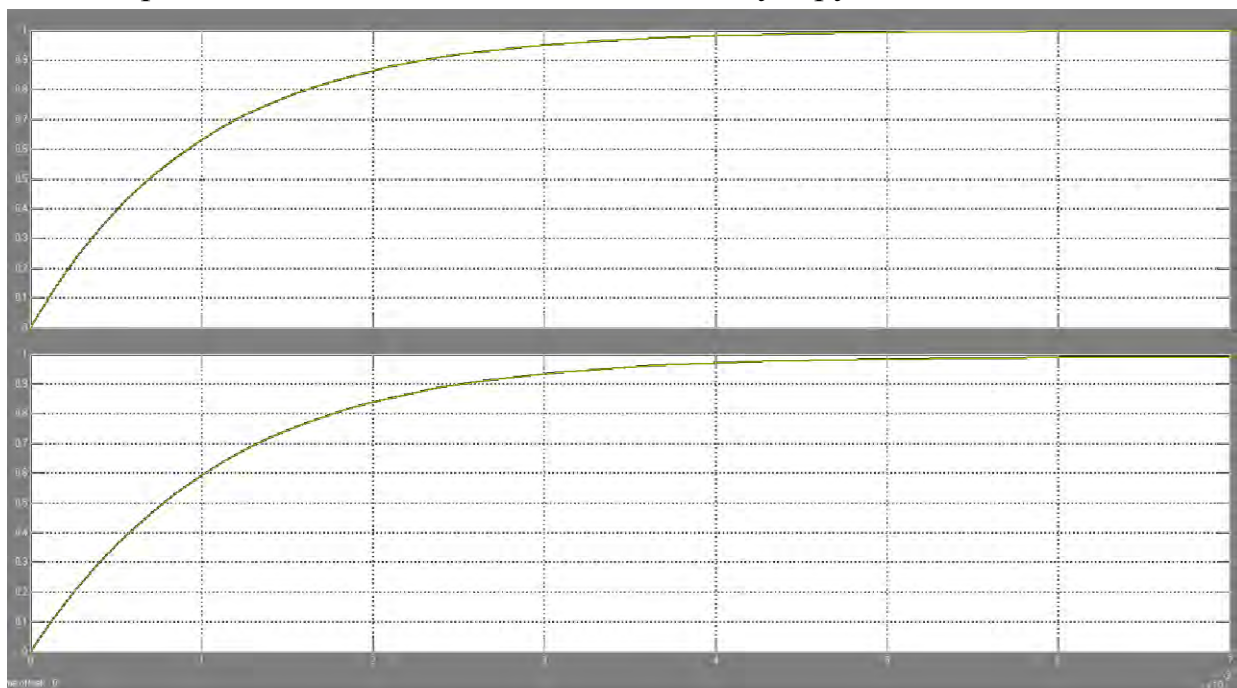


Рисунок 4 – Переходные характеристики эталонной модели и привода при использовании ПД-регулятора

В процессе исследования изменялась также постоянная времени эталонной модели (апериодического звена), с помощью которой задается желаемая длительность переходного процесса. Результаты показали, что соответствие кривых переходного процесса обеспечивается при уменьшении указанной постоянной времени вплоть до 0,001 с. Однако при этом напряжение на двигателе и ток двигателя значительно превышают допустимые значения (модель не предусматривает их ограничения). Изменение указанных переменных в допустимых пределах обеспечивается, если постоянная времени модели не превышает 0,03 с. Это соответствует длительности переходного процесса 0,12 с при допустимом отклонении регулируемой переменной от установившегося значения 2 %.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании адаптивных приводов роботов на основе двигателей постоянного тока.

Список цитированных источников

1. Фомин, В. Н. Адаптивное управление динамическими объектами / В. Н. Фомин, А. Л. Фрадков, В. А. Якубович. – М. : Наука, 1981. – 448 с.
2. Антонов, В. Н. Адаптивное управление в технических системах: учебное пособие / В. Н. Антонов, В. А. Терехов, И. Ю. Тюкин. – СПб. : Издательство С-Петербургского ун-та, 2001. – 244 с.

УДК 620.197.7

Грибовская М. С.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Голуб В. М.

АНАЛИЗ РАБОТЫ УПЛОТНЕНИЙ ПЕСКОВЫХ НАСОСОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕКАЧКИ АБРАЗИВНЫХ ГИДРОСМЕСЕЙ

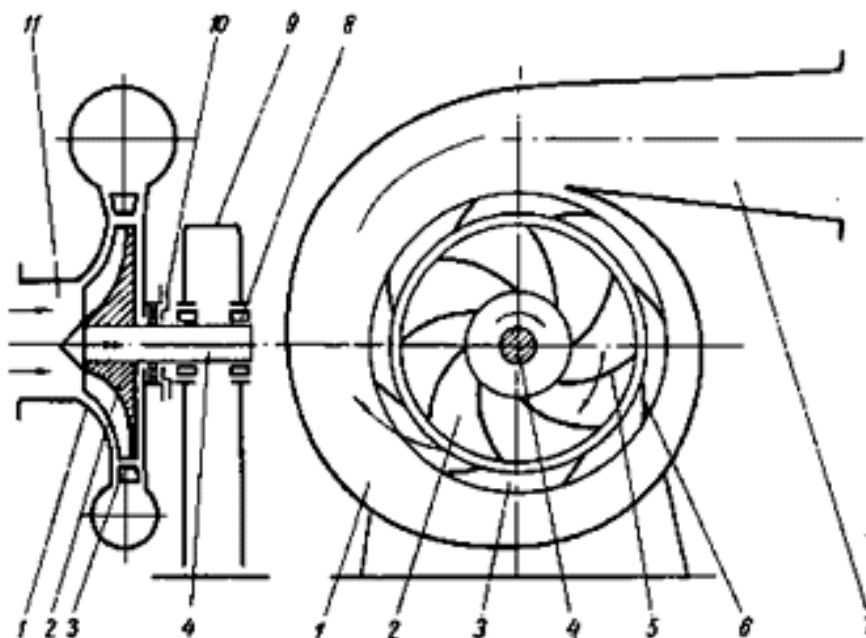
При непрерывном росте давления, температуры, скоростей и наличие гидроабразива в песковых насосах не позволено рационально использовать сальниковое уплотнение, так как оно работает в тяжелых условиях, поэтому приходится искать возможность. Они быстро изнашиваются, так что на складе предприятий должен быть приличный запас.

Целью данной статьи является анализ уплотнений песковых насосов.

Центробежные насосы являются одной из самых распространенных разновидностей динамических гидравлических машин. Они широко применяются: в системах водоснабжения, водоотведения, в теплоэнергетике, в химической промышленности, в атомной промышленности, в авиационной и ракетной технике и др.

На рабочем колесе насоса имеются лопатки (лопасти), которые имеют сложную форму. Жидкость подходит к рабочему колесу вдоль оси его вращения, затем направляется в межлопаточный канал и попадает в отвод. Отвод предназначен для сбора жидкости, выходящей из рабочего колеса, и преобразования кинетической энергии потока жидкости в потенциальную энергию, в частности в энергию давления. Указанное выше преобразование энергии должно происходить с минимальными гидравлическими потерями, что достигается специальной формой отвода.

Одним из видов центробежных насосов являются песковые насосы. Они представляют собой насосы, которые способны перекачивать гидросмеси из песка, гравия, глинозема, продуктов флотации и пр. Их применяют в гидротехническом строительстве, гидравлической разработке полезных ископаемых, гидротранспорте цементного шлама из карьеров, перекачивании различных суспензий и др.

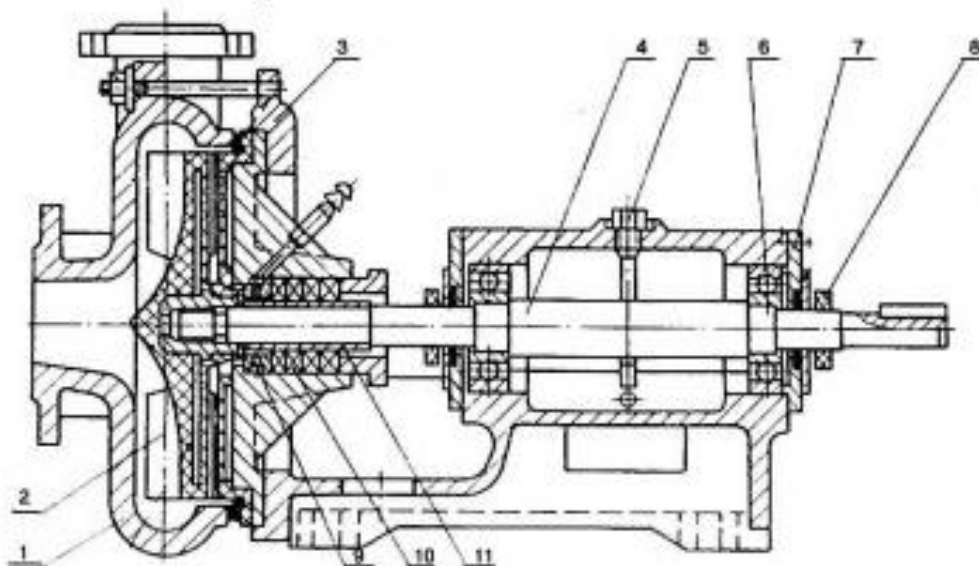


1 – рабочая камера; 2 – рабочее колесо;
 3 – направляющий аппарат; 4 – вал; 5 – лопатка
 рабочего колеса; 6 – лопатка направляющего аппарата; 7 – нагнетательный патрубок;
 8 – подшипник; 9 – корпус насоса (опорная стойка); 10 – гидравлическое торцовое
 уплотнение вала (сальник); 11 – всасывающий патрубок.

Рисунок 1 – Принципиальная схема центробежного насоса

Песковой насос представляет собой одноступенчатую конструкцию. Открытое рабочее колесо одностороннего входа. Насосы выполняются с разными видами защиты основных деталей проточной части: гуммированная (ПР), корундированная (ПК), а также выполнение их из чугуна с повышенной устойчивостью к износу (П, ПБ). Исполнение проточной части определяет допустимую максимальную величину твердых частиц: для насосов ПР – не более 2 мм, для насосов ПК – до 1 мм, для насосов типа П и ПБ – частицы не должны превышать 6 мм.

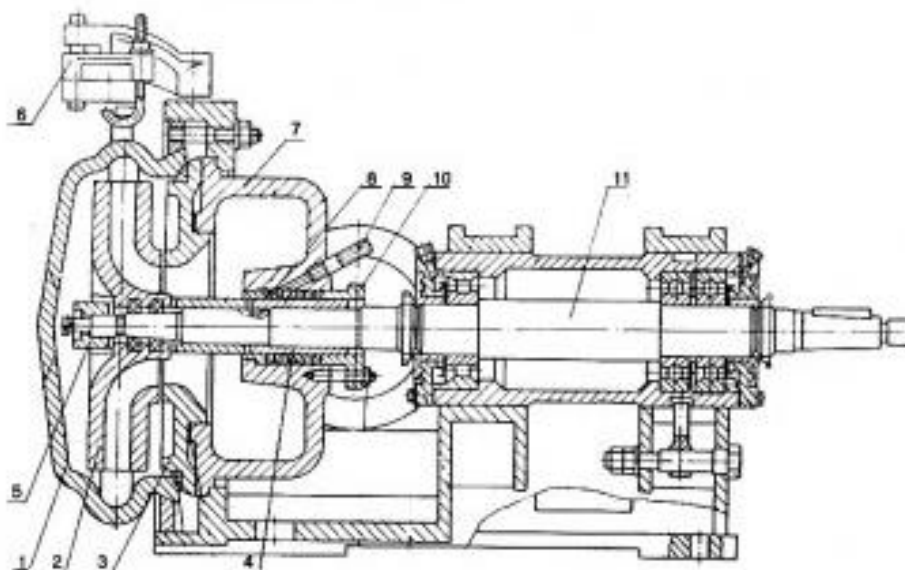
Насос типа П. Горизонтальный электронасосный агрегат с центробежным одноступенчатым консольным насосом типа "П" (песковый) предназначен для перекачивания продуктов обогащения руд и глиноземного производства, песчаных и других гидросмесей плотностью до 1300 кг/куб. м, с температурой от +5 до +60°С., с рН от 6 до 8, с твердыми включениями максимальной плотностью до 7400 кг/куб. м, объемной концентрацией до 25 %, максимальным размером частиц 6 мм.



1 – улитка; 2 – рабочее колесо; 3 – корпус; 4 – вал;
 5 – маслоуказатель; 6 – подшипник; 7 – крышка подшипника; 8 – отбойник;
 9 – кольцо сальника; 10 – манжета сальника; 11 – втулка защитная

Рисунок 2 – Насос типа II

Насос типа ПБ - Горизонтальный электронасосный агрегат с центробежным одноступенчатым консольным насосом с боковым подводом гидросмеси к рабочему колесу (песковый) предназначен для перекачивания продуктов обогащения руд и глиноземного производства, песчаных и других абразивных гидросмесей.



1 – отвод; 2 – рабочее колесо; 3 – диск; 4 – втулка защитная;
 5 – гайка рабочего колеса; 6 – кронштейн поворотного колена; 7 – подвод;
 8 – сальниковый узел; 9 – ниппель подвода воды к сальнику; 10 – крышка сальника; 11 – вал

Рисунок 3 – Насос типа ПБ

Основные технические характеристики наиболее распространенных типов песковых насосов представлены в таблице.

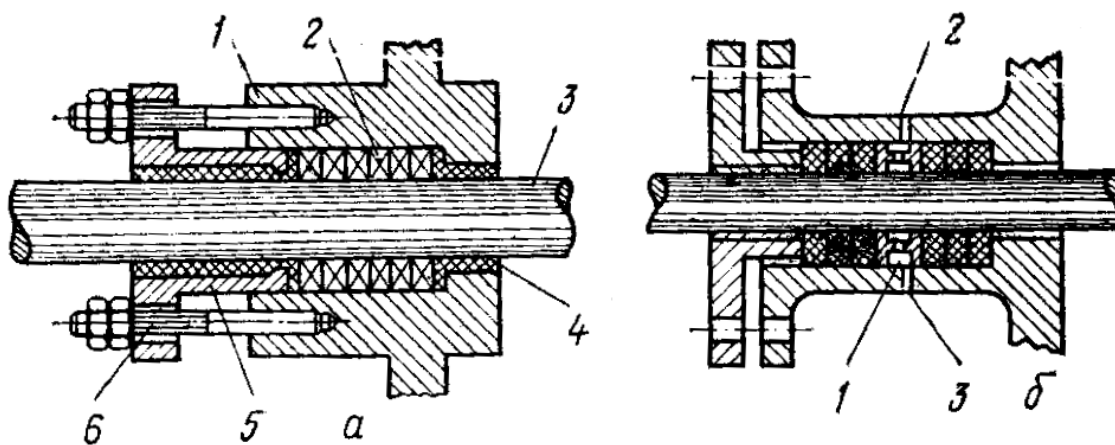
Таблица 1 – Основные технические характеристики

Тип насоса Наименование показателя	П12,5/12,5	ПА 100-140/27,5	ПАС 100-140/27,5	ПБ 100/16	ПК63/22,5	ПР63/22,5
Подача, м ³ /ч	12,5	140	140	100	63	63
Частота вращения, об/мин	1450	1200	1200	1450	1450	1450
КПД, %, не менее	36	60	48	58	44	44
Мощность двигателя, кВт	3,0	30	30	15	15	11
Уплотнение вала насоса	сальниковое с подводом промывочной жидкости	сальниковое с подводом промывочной жидкости	сальниковое с подводом промывочной жидкости	сальниковое с подводом промывочной жидкости	сальниковое с подводом промывочной жидкости	сальниковое с подводом промывочной жидкости

В качестве уплотнения вала насоса обычно используют сальниковое уплотнение с подводом промывочной воды.

Сальниковое уплотнение, это набивка, обвитая вокруг вала и зафиксированная прижимной гайкой.

Принцип действия сальниковых уплотнений основан на том, что набивка в следствии упругости самого материала и давления, оказываемого на него нажимными устройствами, плотно прижимается к поверхности вала или штока, что обеспечивает нужную герметичность. Сальниковую набивку изготавливают из материалов Kevlar, Twaron, PTFE или из синтетической пряжи.



а – нормальный сальник; 1 – сальниковая коробка; 2 – мягкая набивка; 3 – вал; 4 – грундбукса; 5 – нажимная втулка; 6 – шпилька; б – сальник центробежного насоса с гидравлическим уплотнением; 1 – фонарь; 2 – отверстие для подвода уплотняющей жидкости; 3 – отверстие для отвода уплотняющей жидкости

Рисунок 4 – Схема устройства сальниковых уплотнений

Обслуживание сальниковых устройств заключается в их подтяжке, замене набивки с целью компенсации износа, в поддержании нормальной смазки набивки.

Некоторые импортные компании, специализирующиеся на производстве песковых насосов, заменили сальниковое уплотнение на торцовое уплотнение с контактными кольцами из карбида вольфрама.



Рисунок 5 – Торцовые уплотнения насосов серии Flygt N

Повышение долговечности и надежности торцовых уплотнений достигается путем упрочнения рабочих поверхностей контактных колец пар трения методами послойного термического напекания твердосплавных порошков на основе карбида вольфрама. Разработана технология нанесения на контактные кольца из стали износостойких слоев композиционного покрытия из разнозернистых порошков карбида вольфрама и медьсодержащей матричной связки. Установлен оптимальный фазовый и фракционный состав порошков ВК-6, зернового карбида вольфрама и матричной медно-никелевой связки (90% Cu+10%Ni).

Список источников

1. Рахмилевич, З. З. Насосы в химической промышленности: Справочное издание. для рабочих / З. З. Рахмилевич. – М. : Химия, 1990. – 240 с.
2. Малюшенко В. В. Энергетические насосы: Справочное пособие / В. В. Малюшенко, А. К. Михайлов. М. : Энергоиздат, 1981. – 200 с.
3. Голубев, А. И. Торцовые уплотнения вращающихся валов / А. И. Голубев. – изд. 2-е , перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 974. – 212 с.

УДК 637.523.8

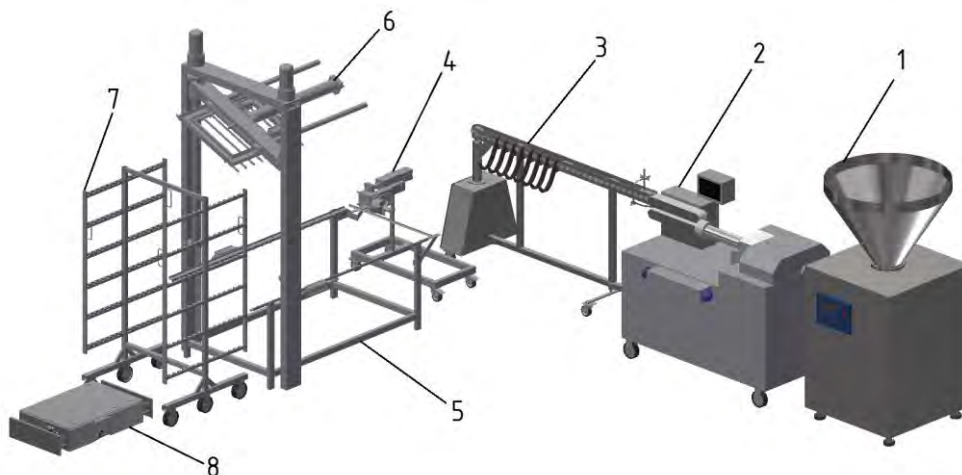
Бурдиловский В. Н., Василюк Е. В.

*Научные руководители: ст. преподаватель Ляшук Н. У.;
к. т. н., доцент Шуть В. Н.*

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ СОСИСОК

В Республике Беларусь работают 23 мяскокомбината и множество небольших предприятий в цехах которых производятся колбасные изделия. Так как спрос на колбасные изделия постоянно растёт, то существует необходимость в модернизации колбасных производств в целях повышения производительности для удовлетворения имеющегося спроса. Наиболее очевидным решением для повышения производительности является автоматизация производства. На сегодняшний день в СНГ при формовании колбасных батонов широко применяется человеческий труд. В Европе разработаны и начали успешно применяться автоматизированные линии формования колбасных батонов.

Специалистами ООО «Фина» и студентами БрГТУ разработан автоматизированный комплекс оборудования для формирования сосисок. В его состав входит следующее оборудование (рисунок 1): шприц вакуумный 1, соединенный с сосисочным автоматом 2.

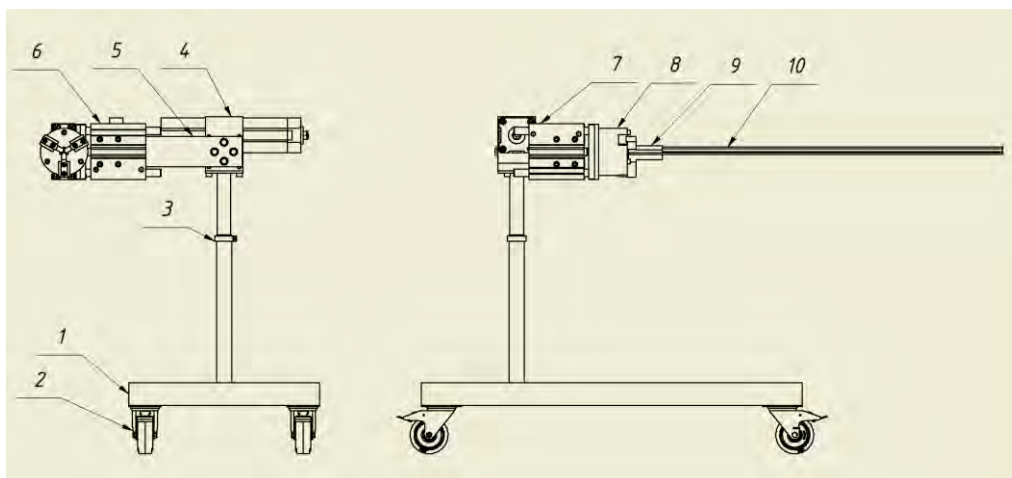


1 – шприц вакуумный, 2 – сосисочный автомат, 3 – навешивающее устройство, 4 – устройство для съёма сосисок, 5 – накопительное устройство, 6 – манипулятор укладки копильных палок, 7 – рама, 8 – тележка грузовая беспилотная

Рисунок 1 – Автоматизированный комплекс оборудования для формирования сосисок

За сосисочным автоматом 2 установлено навешивающее устройство 3 таким образом, чтобы сосиски, выходя из автомата 2, попадали на него. После навешивающего устройства 3 установлено автоматическое устройство для съёма сосисочных гирлянд 4. Перпендикулярно устройству для съёма сосисок 4, в небольшом отдалении от позиции навешивания, расположено накопительное устройство 5, в конце которого расположен манипулятор укладки копильных палок 6. После манипулятора укладки копильных палок 6 установлена колбасная рама 7. К раме 7 автоматически стыкуется тележка грузовая беспилотная 8.

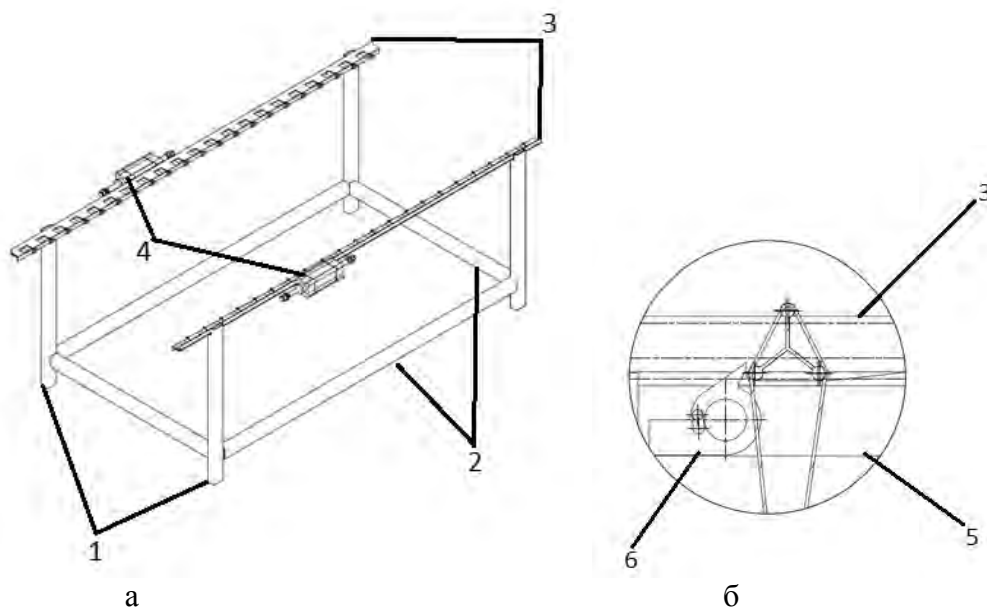
Устройство для съёма сосисочных гирлянд (рисунок 2) состоит из каркаса, механизмов поворота и захвата, механизма автоматической подачи копильных палок, выдвигного захвата.



1 – основание, 2 – колёсная опора, 3 – стойка с регулировкой высоты, 4 – поворотный пневмоцилиндр, 5 – поворотная штанга, 6, 7 – пневмоцилиндр, 8 – захват пневматический, 9 – кулачки, 10 – копильный стержень

Рисунок 2 – Устройство для съёма сосисок

Устройство состоит из основания 1, колёсных опор 2 и стойки с возможностью регулировки высоты 3. На вертикальной стойке 3 смонтирован поворотный пневмоцилиндр 4, на котором установлена поворотная штанга 5. На поворотной штанге 5 смонтирован пневмоцилиндр 6, к которому закреплён такой же пневмоцилиндр 7. На пневмоцилиндре 7 смонтирован пневматический захват 8, к которому прикручены три кулачка. В кулачки зажимается коптильный стержень 10.

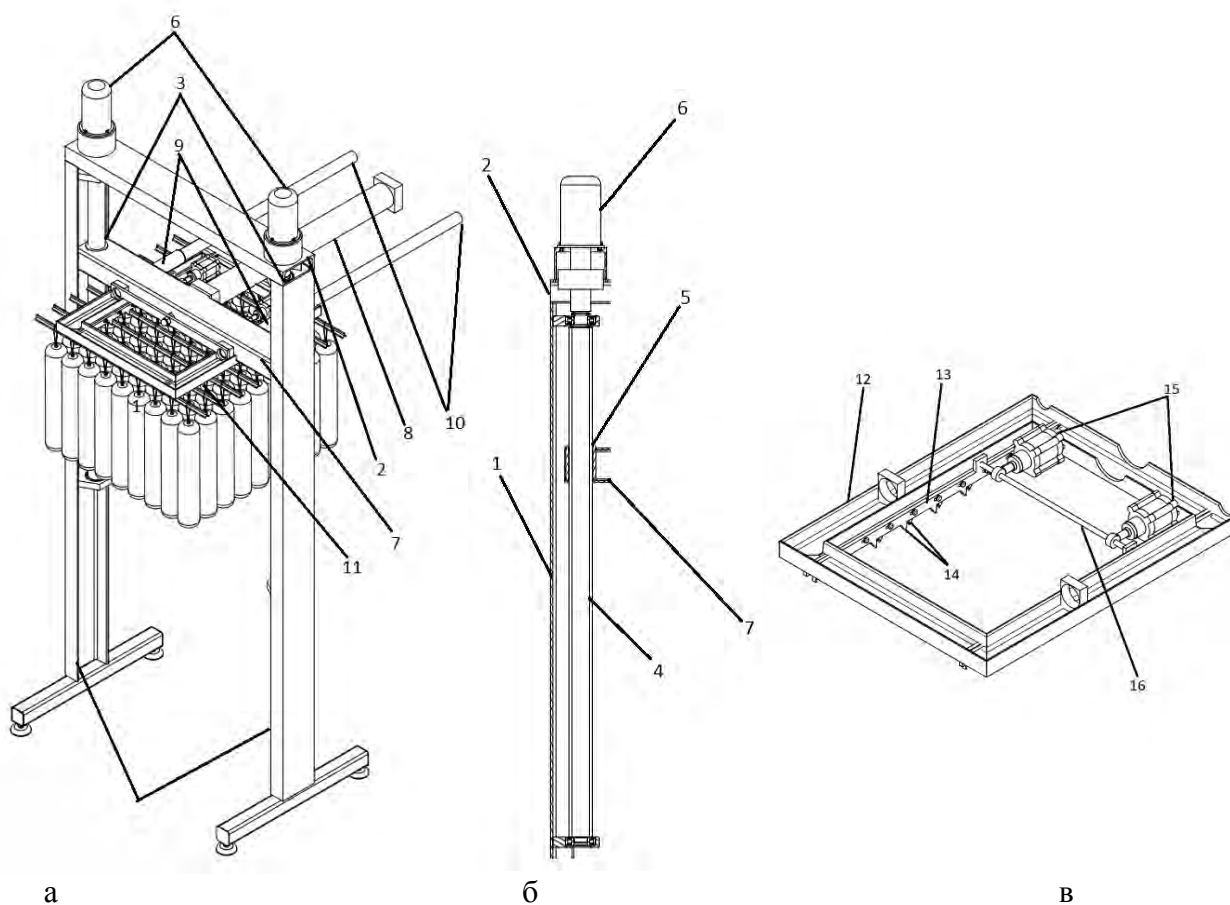


а – вид общий, б – собачка;
1 – вертикальные стойки, 2 – горизонтальные балки,
3 – неподвижные уголки, 4 – пневмоцилиндры, 5 – собачки
Рисунок 3 – Накопительное устройство

Накопительное устройство (рисунок 3) состоит из каркаса, механизма перемещения коптильных палок и приводов. Каркас состоит из вертикальных стоек 1 и горизонтальных балок 2. На вертикальных стойках 1 закреплены неподвижные уголки 3 с вырезами. На этих уголках закреплены пневмоцилиндры 4 двустороннего действия и подвижные уголки 5. Штоки пневмоцилиндров 4 соединены с подвижными уголками. На подвижных уголках 5 поворотные собачки собачки 6.

Манипулятор для укладки коптильных палок (рисунок 4а) состоит из каркаса, захватов и механизмов перемещения захватов. Каркас состоит из двух вертикальных стоек 1 с прикрепленной поперечной балкой 2. В вертикальных стойках 1 установлены винтовые механизмы 3 (рисунок 4б). Винтовой механизм 3 состоит из вертикально установленного винта 4 и находящейся на нём гайки 5. Винт 4 соединен с приводом винтового механизма 6. На гайках 5 закреплена подвижная балка 7. На данной балке смонтированы выдвигающий пневмоцилиндр 8 и две втулки 9 с направляющими стержнями 10, к ним закреплена рамка 11 (рисунок 4 в). Рамка 11 состоит из неподвижного каркаса 12 с упорами захватов 11 и двух подвижных реек 13 с зажимами 14. На неподвиж-

ном каркасе 12 закреплены пневмоцилиндры 15, штоки которых соединены с поперечным стержнем 16 объединяющим рейки 13.



а – вид общий, б – винтовой механизм, в – рамка;

1 – вертикальные стойки, 2 – поперечная балка, 3 – винтовые механизмы, 4 – винт, 5 – гайка, 6 – привод винтового механизма, 7 – подвижная балка, 8 – выдвигающий пневмоцилиндр, 9 – тулки, 10 – направляющие стержни, 11 – рамка, 12 – неподвижный каркас, 13 – подвижные рейки, 14 – зажимы, 15 – пневмоцилиндры, 16 – поперечный стержень

Рисунок 4 – Манипулятор укладки копильных палок

Для транспортирования рамы с колбасными батонами в термическое отделение применяется разработанная специалистами ООО «ФИНА» совместно с БрГТУ тележка грузовая беспилотная (далее ТГБ). Испытания экспериментального образца, изготовленного ООО «ФИНА», показали ее работоспособность.

Работает данная линия следующим образом: фарш с помощью тележки направляется в вакуумный шприц поз. 1 для заполнения им оболочки в порционирующем устройстве поз. 2, где в последующем перекручиваются. Далее устройство для съема сосисок поз. 4 захватывает пневматическим сжимом копильную палку и при помощи пневматического поворотного цилиндра перемещается под линию крюков навешивающего устройства поз. 3. Сформированные сосиски навешиваются на устройство для навешивания сосисок поз. 3, формируя на нём сосисочные гирлянды. После того, когда все сосиски одной оболочки навеселись на навешивающее устройство поз. 3, начинает работать поворотный пневмоцилиндр и пневмоцилиндр двустороннего действия, снимая сосисочную гирлянду с навешивающего устройства поз. 3. Далее копильные палки

с сосисками перемещаются на накопительный транспортёр поз. 5. По данному транспортёру палки перемещаются при помощи собачек, расположенных на подвижной направляющей, приводящейся в движение пневмоцилиндрами, перемещающими палки на шаг. При накоплении в конце данного транспортёра девяти заполненных палок, манипулятор поз. 6 захватывает коптильные стержни с сосисками и устанавливает их в колбасную раму поз. 7. После заполнения колбасная рама поз. 7 захватывается программируемой тележкой поз. 8 и перемещается в термическое отделение, в то время как аналогичная тележка подставляет пустую колбасную раму.

Автоматизированный комплекс может работать как в автоматическом режиме по предварительно введённой программе, так и в полуавтоматическом режиме путём нажатия оператором соответствующих кнопок на пульте управления. Возможно также отдельное задание режимов работы каждой машины в комплексе.

Автоматизированное управление, как единицами оборудования, так и комплексом, в целом позволяет исключить влияние человеческого фактора, обеспечивать высокую стабильность технологических параметров и воспроизводимость получаемых результатов обработки, а также максимальную гибкость проведения процессов в отношении технологических режимов.

Централизованная система управления комплексом построена на базе высокопроизводительного программируемого контроллера ОВЕН ПЛК110 с сенсорной панелью оператора ОВЕН СП300.

Всё силовое оборудование комплекса смонтировано в отдельных шкафах, устанавливаемых непосредственно рядом с агрегатами. Силовые кабели частотных преобразователей имеют защитные экраны, чтобы не наводить помехи на близлежащие контрольные кабели. Все аппараты комплекса связаны сетевым интерфейсом RS-485. Весь комплекс оборудования запитан от 5-ти проводной сети с номинальным напряжением 380 В. После вводных автоматов в шкафу каждого из агрегатов установлено многофункциональное реле контроля фаз для защиты от обрыва фазы, скачков напряжения, перекоса фаз, а также установлены выключатели дифференциального тока для защиты от утечки.

Оператор имеет возможность удалённо контролировать все процессы, а также задавать или изменять параметры процессов и режим работы комплекса благодаря SCADA-системе, разработанной в среде Master Scada 4D.

Структура автоматической системы управления (АСУ) включает в себя три уровня.

На нижнем уровне АСУ располагаются датчики давления, температуры, уровня, расхода, исполнительные механизмы, а также средства дистанционного управления (местные посты) исполнительными механизмами (задвижками, клапанами и др.), позволяющие оператору вести технологический процесс в ручном режиме.

На среднем уровне реализуется логика управления системы. Здесь расположены основные модули, базирующиеся на промышленных программируемых контроллерах, которые выполняют функции сбора, обработки информации, управления, регулирования и защиты от нештатных ситуаций, подают предупредительные и аварийные сигналы, блокируют, выдают сигналы в штатную

автоматику и др. Конструктивно контроллер с необходимыми блоками и модулями, а также релейно-контакторная аппаратура управления исполнительными устройствами установлены в шкафах управления. На лицевой стороне шкафов закреплены панели для отображения параметров.

В верхний уровень АСУ (диспетчеризация АСУ ТП) входят средства, выполняющие функции отображения информации в различной форме, ее архивирование и протоколирование, а также функции дистанционного управления основными модулями контроллеров путем прямого регулирования или изменения параметров и уставок регулирования.

В данном комплексе предполагаем использовать серийно выпускаемые (например КОМПО) шприц и сосисочный автомат, а остальные устройства разработаны и подлежат изготовлению. Сравнивая данный комплекс с аналогами [1, 2, 3] можно сделать вывод, что изделия, входящие в состав комплекса, обладают простой конструкцией, оптимальным количеством степеней свободы, упрощённой системой программного управления и соответственно более низкой стоимостью. Применение тележки грузовой беспилотной позволяет автоматизировать процесс перемещения рамы с колбасными батонами в термическое отделение. На ряд технических решений, применённых в данном комплексе, поданы заявки на патент.

Список использованных источников

1. Видеохостинг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com>. – Дата доступа: 20.04.2021.
2. Официальный сайт машиностроительной фирмы JBT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vemag.de>. – Дата доступа: 20.04.2021.
3. Официальный сайт машиностроительной фирмы Poly-Clip [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.handtmann.de>. – Дата доступа: 20.04.2021.
4. Бурдиловский, В. Н. Разработка автоматизированного комплекса формования сосисок / В. Н. Бурдиловский // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов: в 2 ч. / УО «Брестский государственный технический университет»; редкол. : Н. Н. Шалобита [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2021. – Ч. 1. – 320 с.

УДК 637.523.8

Левонюк И. Н., Василюк Е. В.

*Научный руководитель: ст. преподаватель Ляшук Н. У.;
к. т. н., доцент Шуть В. Н.*

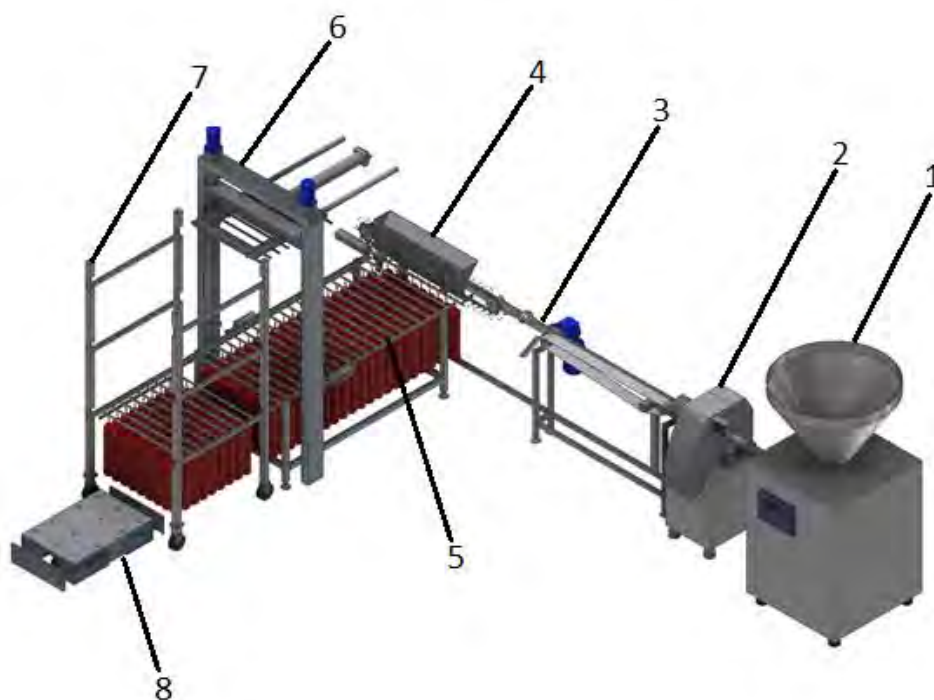
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ КОЛБАСНЫХ БАТОНОВ

В РБ работают 23 мясокомбината и множество небольших предприятий, в цехах которых производятся колбасные изделия. Так как спрос на колбасные изделия постоянно растёт, то существует необходимость в модернизации колбасных производств в целях повышения производительности для удовлетворения имеющегося спроса. Наиболее очевидным решением для повышения производительности является автоматизация производства. На сегодняшний день в СНГ при формовании колбасных батончиков широко применяется человеческий

труд. В Европе разработаны и начали успешно применяться автоматизированные линии формования колбасных батонов.

В нашей статье [4] были представлены аналоги – комплексы оборудования для формования колбасных батонов европейских компаний [1, 2, 3,]. В состав этих комплексов входит универсальный робот, а рама с колбасными батонами транспортируется в термическое отделение вручную. Применение универсального робота, оснащенного шестью степенями свободы, усложняет комплекс и делает его дорогим, а транспортирование рамы в термическое отделение вручную снижает коэффициент автоматизации комплекса.

Специалистами ООО “Фина” и студентами БрГТУ разработан автоматизированный комплекс оборудования для формования колбасных батонов. В его состав входит следующее оборудование (рисунок 1): шприц вакуумный 1 соединенный с клипсатором автоматическим 2.

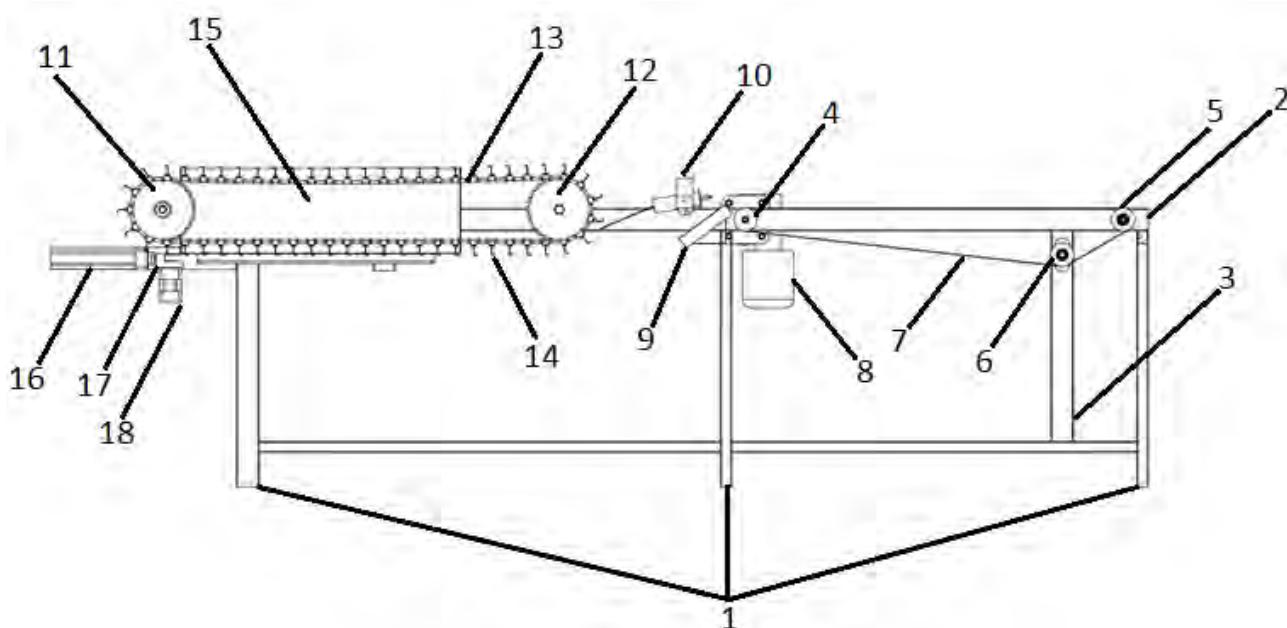


*1 – шприц вакуумный, 2 – клипсатор автоматический,
3 – навешивающее устройство, 4 – автоматическое устройство
подачи коптильных палок, 5 – накопительное устройство, 6 – манипулятор
укладки коптильных палок, 7 – рама, 8 – тележка грузовая беспилотная*

**Рисунок 1 – Автоматизированный комплекс
оборудования для формования колбасных батонов**

За клипсатором автоматическим 2 установлено навешивающее устройство 3 таким образом, чтобы колбасные батоны, выходя из клипсатора 2, попадали на него. На каркасе навешивающего устройства 3 смонтировано автоматическое устройство подачи коптильных палок 4. Перпендикулярно навешивающему устройству 3, в небольшом отдалении от позиции навешивания, расположено накопительное устройство 5, в конце которого расположен манипулятор укладки коптильных палок 6. После манипулятора укладки коптильных палок 6 установлена колбасная рама 7. К раме 7 автоматически стыкуется тележка грузовая беспилотная 8.

Навешивающее устройство (рисунок 2) состоит из каркаса, механизмов перемещения и перевески, механизма автоматической подачи коптильных палок, выдвижного захвата.



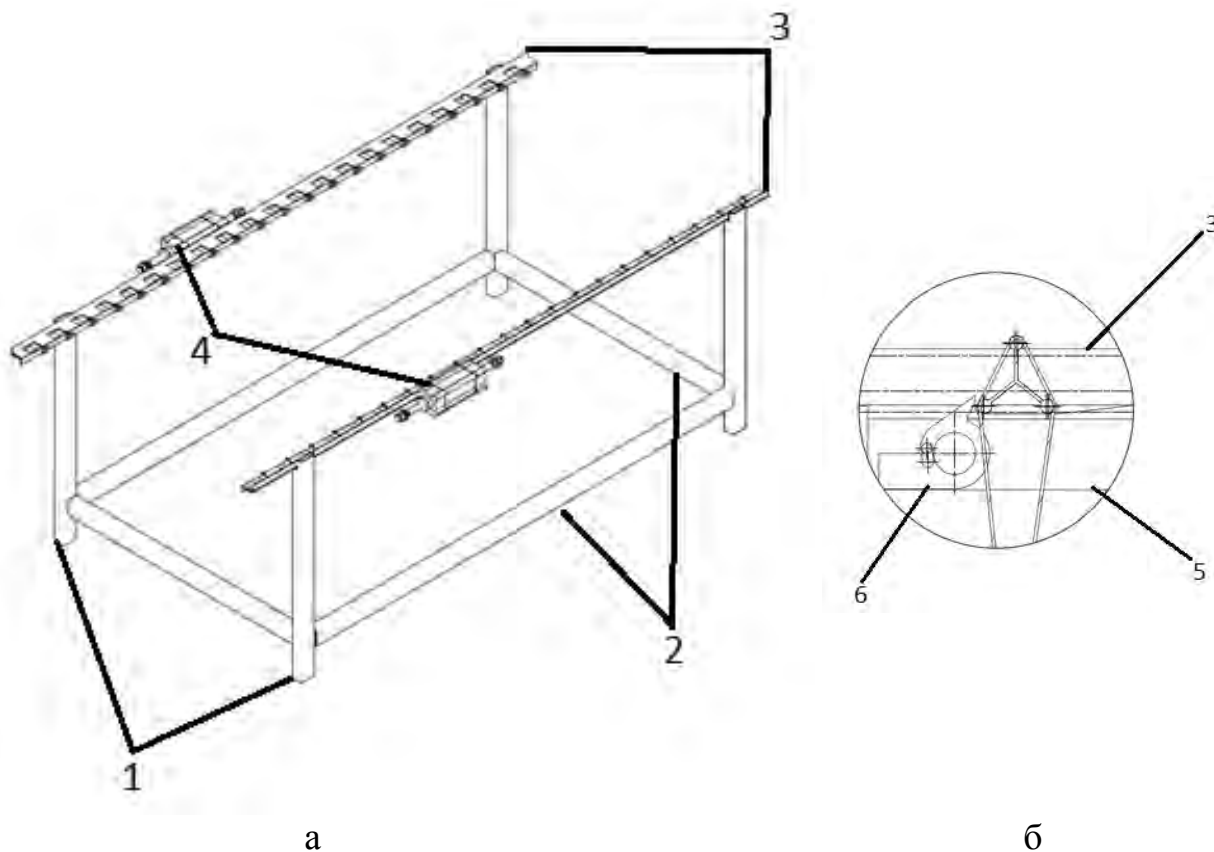
1 – вертикальная стойка, 2 – горизонтальная балка, 3 – вертикальная профильная труба, 4 – приводной барабан, 5 – ведомый барабан, 6 – натяжной ролик, 7 – лента, 8 – мотор-редуктор, 9 – наклонный лоток, 10 – шпатель, 11 – ведущая звёздочка, 12 – ведомая звёздочка, 13 – цепь, 14 – крюки, 15 – автоматическое устройство подачи коптильных палок, 16 – пневмоцилиндр, 17 – захват, 18 – зажимающий пневмоцилиндр

Рисунок 2 – Навешивающее устройство

Каркас состоит из вертикальных стоек 1, горизонтальной балки 2, вертикальной профильной трубы 3, продольных и поперечных балок (на рисунке не указаны). На горизонтальной балке 2 смонтированы приводной барабан 4 и ведомый барабан 5. В пазу вертикальной профильной трубы 3, установленной между горизонтальной балкой 2 и продольной балкой (на рисунке не указана) смонтирован натяжной ролик 6. На эти барабаны и ролик натянута лента 7. Приводной барабан 4 соединён с закреплённым на горизонтальной балке 2 мотор-редуктором 8. После приводного барабана 4 на поперечной балке (на рисунке не указана) установлен наклонный лоток 9, над которым на горизонтальной балке 2 смонтирована шпатель 10. Далее, на горизонтальной балке 2 смонтированы ведущая звёздочка 11 и ведомая звёздочка 12, на которые натянута цепь 13 с двойными крюками 14. Ведущая звёздочка 11 соединена с закреплённым на горизонтальной балке 1 шаговым двигателем (на рисунке не указан). Также на горизонтальной балке 2 установлен автоматический механизм подачи коптильных палок 15. После ведущей звёздочки 11 на кронштейне (на рисунке не указан) к горизонтальной балке 2 закреплён корпус пневмоцилиндра 16, на штоке которого закреплён захват 17, к которому, в свою очередь, закреплён зажимающий пневмоцилиндр 18.

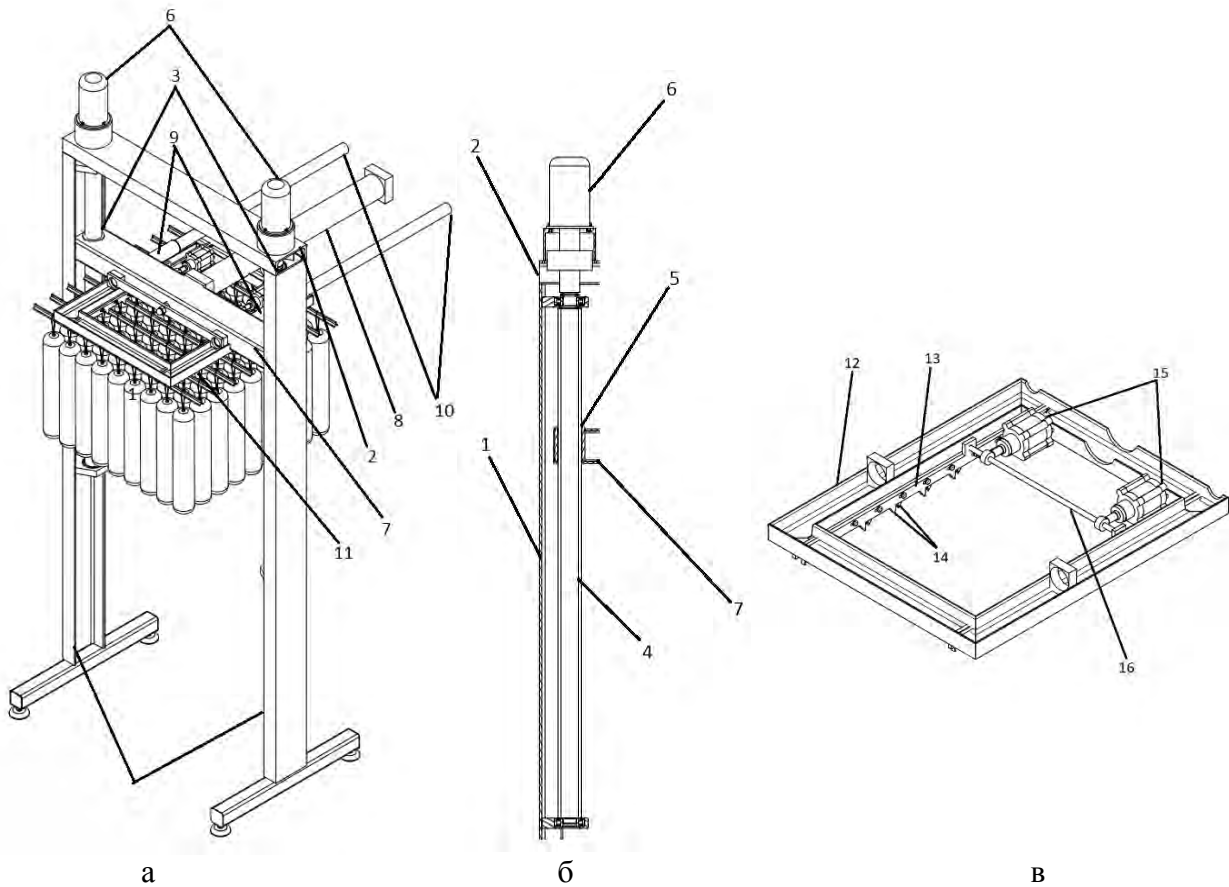
Накопительное устройство (рисунок 3) состоит из каркаса, механизма перемещения коптильных палок и приводов. Каркас состоит из вертикальных стоек 1 и горизонтальных балок 2. На вертикальных стойках 1 закреплены неподвижные

ные уголки 3 с вырезами. На этих уголках закреплены пневмоцилиндры 4 двустороннего действия и подвижные уголки 5. Штоки пневмоцилиндров 4 соединены с подвижными уголками. На подвижных уголках 5 поворотные собачки собачки 6.



а – вид общий, б – собачка;
 1 – вертикальные стойки, 2 – горизонтальные балки,
 3 – неподвижные уголки, 4 – пневмоцилиндры, 5 – собачки
Рисунок 3 – Накопительное устройство

Манипулятор для укладки коптильных палок (рисунок 4а) состоит из каркаса, захватов и механизмов перемещения захватов. Каркас состоит из двух вертикальных стоек 1 с прикреплённой поперечной балкой 2. В вертикальных стойках 1 установлены винтовые механизмы 3 (рисунок 4б). Винтовой механизм 3 состоит и вертикально установленного винта 4 и находящейся на нём гайки 5. Винт 4 соединен с приводом винтового механизма 6. На гайках 5 закреплена подвижная балка 7. На данной балке смонтированы выдвигающий пневмоцилиндр 8 и две втулки 9 с направляющими стержнями 10, к ним закреплена рамка 11 (рисунок 4в). Рамка 11 состоит из неподвижного каркаса 12 с упорами захватов 11 и двух подвижных реек 13 с зажимами 14. На неподвижном каркасе 12 закреплены пневмоцилиндры 15, штоки которых соединены с поперечным стержнем 16 объединяющим рейки 13.



а – вид общий, б – винтовой механизм, в – рамка;

1 – вертикальные стойки, 2 – поперечная балка, 3 – винтовые механизмы, 4 – винт, 5 – гайка, 6 – привод винтового механизма, 7 – подвижная балка, 8 – выдвигающий пневмоцилиндр, 9 – втулки, 10 – направляющие стержни, 11 – рамка, 12 – неподвижный каркас, 13 – подвижные рейки, 14 – зажимы, 15 – пневмоцилиндры, 16 – поперечный стержень

Рисунок 4 – Манипулятор укладки коптильных палок

Для транспортирования рамы с колбасными батонами в термическое отделение применяется разработанная специалистами ООО «ФИНА» совместно с БрГТУ тележка грузовая беспилотная (далее ТГБ). Испытания экспериментального образца, изготовленного ООО «ФИНА» показали ее работоспособность.

Работает данный комплекс следующим образом: на колбасные батоны, после их выхода из шприца вакуумного 1, клипсатором автоматическим 2 накладывается петля. Далее батоны попадают на ленту (см. рисунок 2 поз. 7) навешивающего устройства 3, пройдя по которой батоны попадают на наклонный лоток наклонный лоток (см. рисунок 2 поз. 9), соскальзывая с него, петля попадает на шпульку (см. рисунок 2 поз. 10), выходя из которой петля падает на крюки (см. рисунок 2 поз. 14) цепи (см. рисунок 2 поз. 13). Перемещаясь на крюках петли надеваются на коптильную палку, подаваемую автоматическим устройством подачи коптильных палок 4 из бункера (см. рисунок 3 поз. 15) на позицию навешивания. На каждую коптильную палку подаётся определённое количество батонов, которое отсчитывается датчиком (на рисунке не указан). Далее палка с навешенными батонами захватывается собачками (см. рисунок 3 поз. 6) накопительного устройства 5. По данному устройству палки перемещаются при помощи собачек (см. рисунок 3 поз. 6). При накоплении в конце данного устройства определённого комплекта заполненных палок (соответствующего размеру рамы) он захватывается манипуля-

тором укладки копильных палок 6 и укладывается в раму 7. При заполнении рамы 7 тележка грузовая беспилотная перемещает заполненную раму в термическое отделение и подставляет пустую раму на позицию укладки.

В данном комплексе предполагаем использовать серийно выпускаемые (например КОМПО) шприц и клипсатор, а остальные устройства разработаны и подлежат изготовлению. Сравнивая данный комплекс с аналогами [1, 2, 3] можно сделать вывод что изделия, входящие в состав комплекса, обладают простой конструкцией, оптимальным количеством степеней свободы, упрощённой системой программного управления и соответственно более низкой стоимостью. Применение тележки грузовой беспилотной позволяет автоматизировать процесс перемещения рамы с колбасными батонами в термическое отделение. На ряд технических решений, применённых в данном комплексе, поданы заявки на патент.

Список использованных источников

1. Видеохостинг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com>. – Дата доступа: 28.03.2021.
2. Официальный сайт машиностроительной фирмы JBT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.jbtc.com>. – Дата доступа: 28.03.2021.
3. Официальный сайт машиностроительной фирмы Poly-Clip [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.polyclip.com>. – Дата доступа: 28.03.2021.
4. Левонюк, И. Н. Разработка автоматизированного комплекса формования колбасных батонов / И. Н. Левонюк // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов: в 2 ч. / УО «Брестский государственный технический университет»; редкол. : Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2021. – Ч. 1. – 320 с.

УДК 637.513.2

Николайчик И. С., Лазарук В. Р.

Научный руководитель: ст. преподаватель Ляшук Н. У.

ОБЗОР СРЕДСТВ МЕЖОПЕРАЦИОННОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ УБОЯ

Важнейшей задачей средств межоперационного транспортирования мясоперерабатывающей промышленности заключается в транспортировке продуктов убоя, не загрязняя поверхность продуктов. Эффективность транспортных устройств определяется в главном счете скоростью транспортировки от одной операции до другой, удобством в эксплуатации и других факторов.

При классификации оборудования мясной промышленности в отдельную группу необходимо выделить транспортное технологическое оборудование (подвесной путь, транспортер).

К продуктам убоя относятся:пищевая кровь, шкура КРС; ноги, рога, вымя, белые органы, красные органы, головы, туши и полутуши, непищевое сырье (отходы).

Классификация средств межоперационного транспортирования

Транспортные средства мясожировых производств классифицируются на следующие классы:

- подвесные конвейеры;
- напольные конвейеры;

- напольный транспорт;
 - пневмотранспорт;
 - транспортные средства для транспортировки жидких продуктов.
- Каждый вышеуказанный класс подразделяют по назначению.

Подвесные конвейеры. Подвесные конвейеры – используют при транспортировке мясного сырья на этапах обвалки, жиловки, сортировки мяса.

К подвесным конвейерам по назначению подразделяют:

1.1 Для транспортирования туш и полутуш: элеваторы подъема (опускания), элеватор перевески с пута на крюки, конвейер для обескровливания, конвейер для обработки, конвейер для шокового охлаждения, элеваторы транспортирования туш на участке съема шкур.



а)



б)

а) Элеватор подъема; б) Конвейер обескровливания

Рисунок 1 – Подвесные конвейеры

1.2 Для перемещения продуктов убоя: транспортер для подачи голов на инспекцию и на участок обработки, транспортер для подачи красных органов на инспекцию и участок обработки, конвейер для подачи белых органов на инспекцию и участок обработки.

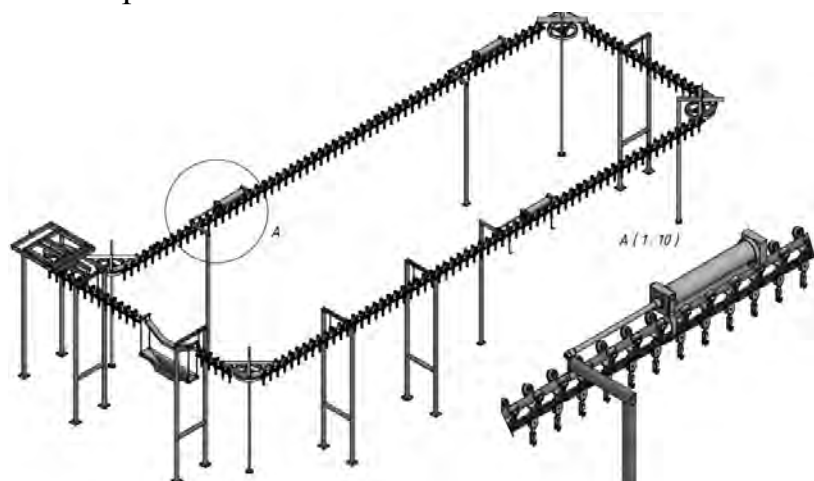


Рисунок 2 – Конвейер подачи красных органов

Напольные конвейеры. Напольные конвейеры служат для перемещения животного сырья из чистой зоны к машинам или рабочим местам для дальнейшей обработки.

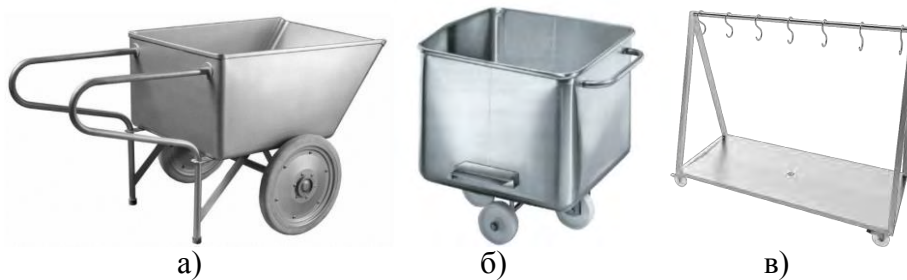


Рисунок 3 – Транспортёр для белых органов

К напольным конвейерам относят: транспортёр для подачи шкур на участок обработки, транспортёр для подачи комплекта белых органов на инспекцию и участок обработки, транспортёр для подачи красных органов на инспекцию и участок обработки.

Напольный транспорт. Напольный транспорт – это оборудование, которое представляет собой транспортные устройства, применяемые в цехах предприятия.

К напольному транспорту относят: тележка ковшовая, вешала для голов, вешала для красных органов, тележка-чан.



а) тележка ковшовая; б) тележка-чан; в) вешало для красных органов

Рисунок 4 – Напольный транспорт

Пневмотранспорт. Пневмотранспорт применяется для транспортирования сыпучих материалов за счет несущей способности движущегося воздуха.

На мясожировых производствах применяется для сбора и транспортирования жирсырья по трубам в отделение обработки, а также для сбора и транспортирования отходов по трубам в отделение обработки.



Рисунок 5 – Пневмотранспорт

Трубчатый. Машины, связанные между собой трубопроводным транспортом или транспортерами, образуют механизированную линию, которая представляет собой систему машин и оборудования для последовательного выполнения отдельных операций технологии. Работа трубопроводного транспорта обеспечивается посредством применения насосов различных типов.

Насос – это гидравлическая машина, преобразующая механическую энергию двигателя в энергию перемещаемой продукции.

Насосы подразделяют на два типа: динамические (центробежные) и объёмные. Центробежные насосы предназначены для транспортирования пищевой и технической воды, объёмные – для перекачивания пластично-вязких продуктов.

В данной работе мы информируем: Компания ООО «ФИНА» разработала новые виды транспортных средств:

1. Подвесной конвейер для продуктов убоя с пневмоприводом.
2. Гравитационный конвейер возврата крюков на исходную позицию.
3. Вертикальный транспортер (нория) для подъема крюков на гравитационный конвейер возврата крюков.
4. Тележка грузовая беспилотная (ТГБ) для транспортирования продуктов убоя на участки обработки.

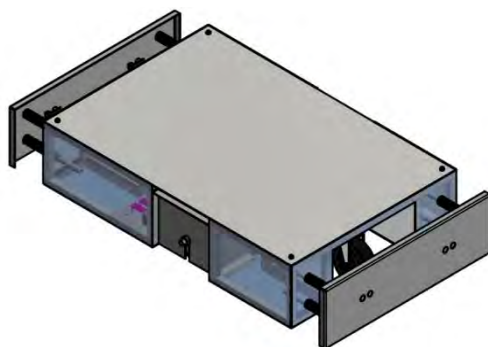


Рисунок 6 – Тележка грузовая беспилотная (ТГБ)

Испытания экспериментального образца, изготовленного ООО «ФИНА», показали ее работоспособность. Производится разработка модели ТГБ для серийного производства.

Список использованных источников

1. Общие сведения об оборудовании мясной отрасли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://kenves.by/pol_info_26.html. – Дата доступа: 25.05.2022.
2. Классификация транспортных средств мясокомбината [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lektsia.com/4x733d.html>. – Дата доступа: 25.05.2022.
3. Николайчик, И. С. Средства межоперационного транспортирования продуктов убоя / И. С. Николайчик, В. Р. Лазарук / Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов: в 2 ч. / УО «Брестский государственный технический университет»; редкол. Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2022.

ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСИЛИЙ В КРУГОВЫХ ТРЕХШАРНИРНЫХ АРКАХ, НАГРУЖЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПО ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ НАГРУЗКАМИ

Снеговые нагрузки на покрытия цилиндрической формы с учетом разного сдувания (опадения) снега с зон покрытий с различными углами наклона могут распределяться по параболической зависимости [1]. Расчет таких покрытий, которые широко применяются, может быть сведен к расчету арочных систем [2]. Поэтому расчет круговых трехшарнирных арок на действие нагрузок, распределенных по параболической зависимости, актуален и представляет интерес.

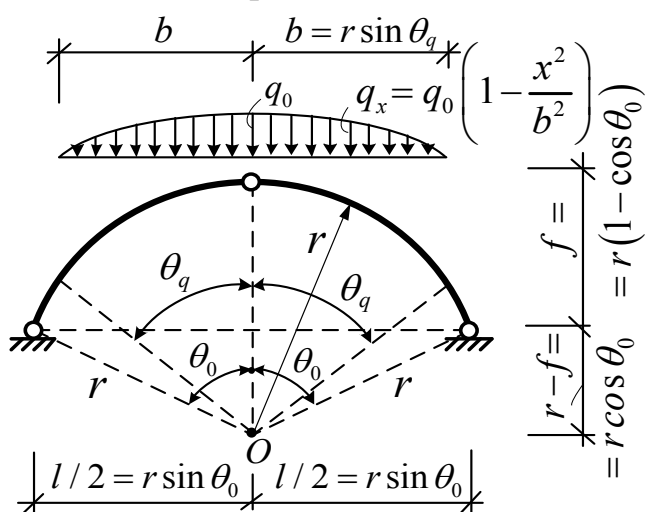


Рисунок 1 – Расчетная схема

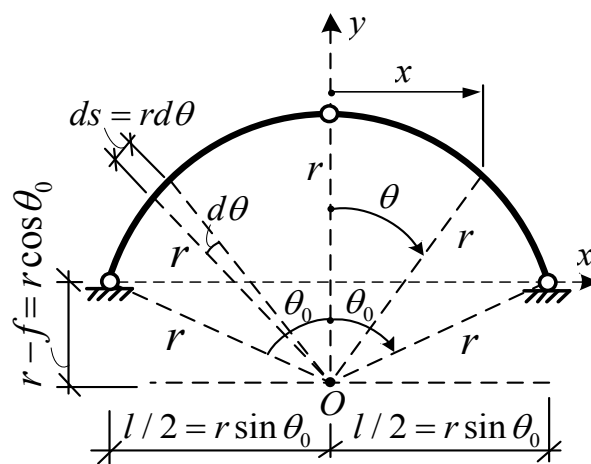


Рисунок 2 – Системы координат

Рассматриваются трехшарнирные арки кругового очертания постоянной жесткости пролетом l (рисунок 1), вертикальными статическими, распределенными по параболической зависимости нагрузками. Получим для них выражения внутренних сил – изгибающих моментов, поперечных и продольных сил – в произвольном сечении системы. Расчет выполним статическим методом.

Так как оси арок изменяются по окружности, получение и интегрирование зависимостей удобно выполнять в полярной системе координат (рисунок 2). За полюс примем точку O в центре окружности, а в качестве оси для отсчета угла (θ) (по часовой стрелке) примем вертикальную ось y . Зависимость между декартовой (x, y) и полярной (r, θ) системами координат принимает вид:

$$x = r \sin \theta; \quad y = r(\cos \theta - \cos \theta_0). \quad (1)$$

Геометрические соотношения здесь определяется зависимостями:

$$ds = r d\theta. \quad r = \frac{l^2 / 4 + f^2}{2f}. \quad \operatorname{tg} \theta_0 = \frac{l}{2(r - f)}. \quad (2)$$

Найдем опорные реакции из уравнений равновесия всей арки и ее полуарок (рисунок 3).

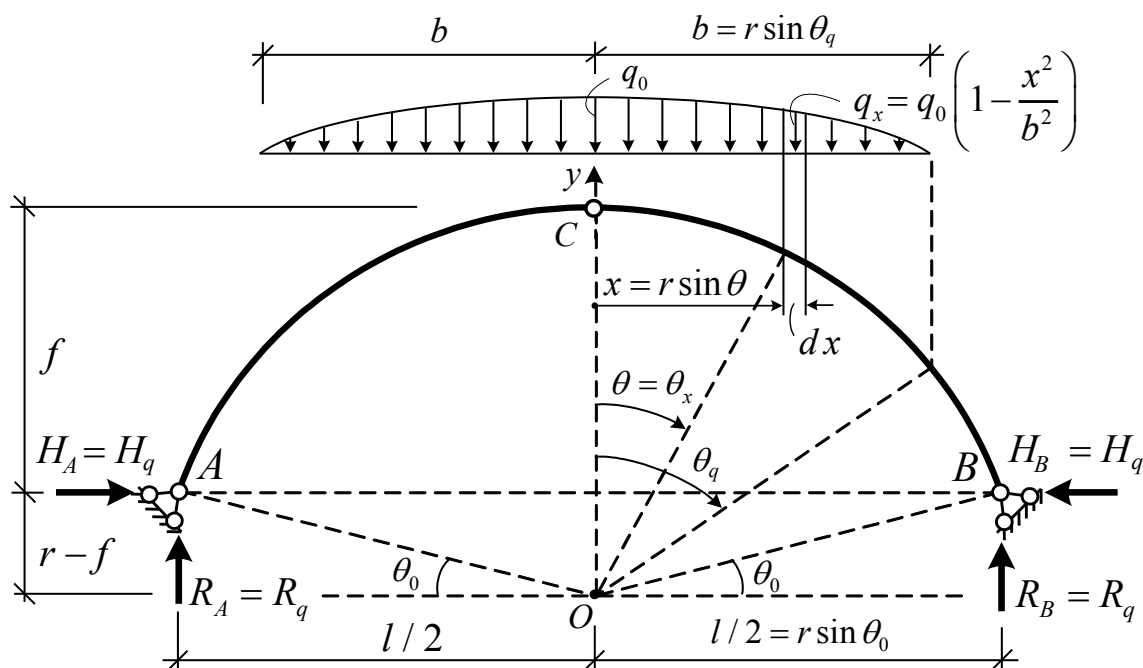


Рисунок 3 – Расчетная схема арки для определения опорных реакций

Для определения опорной реакции R_A составим сумму моментов всех сил, действующих на арку, относительно опорной точки B . Выполнив интегрирование и решив уравнение, получим:

$$\sum M_A = 0; \quad -R_B l + \int_{-b}^b q_0 \left(1 - \frac{x^2}{b^2}\right) \left(x + \frac{l}{2}\right) dx = 0; \quad R_B = \frac{2}{3} q_0 b.$$

$$\sum M_C^{лев} = 0; \quad H_B \cdot f - R_A \cdot \frac{l}{2} + \int_0^b q_0 \left(1 - \frac{x^2}{b^2}\right) x dx = 0; \quad H_B = \frac{q_0 b}{f} \left(\frac{l}{3} - \frac{b}{4}\right).$$

Ввиду симметричности системы:

$$R_A = R_B = R_q = \frac{2}{3} q_0 b. \quad H_A = H_B = H_q = \frac{q_0 b}{f} \left(\frac{l}{3} - \frac{b}{4}\right). \quad (2)$$

Для получения выражений внутренних сил в сечении x (θ_x) от действия внешней нагрузки, распределенной по параболической зависимости, рассмотрим равновесие отсеченных частей арки относительно сечений и выразим внутренние силы через опорные реакции и внешнюю нагрузку (рисунок 4).

На участке 1 при рассмотрении левой части арки изгибающий момент в сечении можно выразить только через опорные реакции:

$$M_{q(1)} = R_B \left(\frac{l}{2} + x\right) - H_q y = R_q \left(\frac{l}{2} + r \sin \theta\right) - H_q (r \cos \theta - r + f). \quad (7)$$

В полярной системе координат будем иметь:

$$M_{q(1)} = R_q \frac{l}{2} + H_q (r - f) + R_q r \sin \theta - H_q r \cos \theta. \quad (8)$$

Изгибающий момент в сечении, расположенном на участке действия распределенной нагрузки (участок 2), выразим из правой части арки через опорные реакции и распределенную нагрузку, интегрируя элементарную нагрузку на бесконечно малом участке dx в пределах действия нагрузки:

$$M_{q(2)} = -H_q \cdot y + R_B \left(\frac{l}{2} - x \right) - q_0 \int_x^b \left(1 - \frac{x_{qx}^2}{b^2} \right) (x_{qx} - x) dx_{qx} =$$

$$= -H_q \cdot y + R_q \left(\frac{l}{2} - x \right) - q_0 \left[\frac{1}{2} (b^2 - x^2) - x (b - x) - \frac{b^2}{4} \left(1 - \frac{x^4}{b^4} \right) + \frac{x}{3b^2} (b^3 - x^3) \right],$$

или в полярной системе координат:

$$M_{q(2)} = \frac{1}{2} R_q l + H_q r \cos \theta_0 - \frac{1}{4} q_0 b^2 + \left(-R_q r + \frac{2}{3} q_0 b r \right) \sin \theta -$$

$$- H_q r \cos \theta - \frac{1}{2} q_0 r^2 \sin^2 \theta + \frac{1}{12} q_0 r^4 \sin^4 \theta.$$

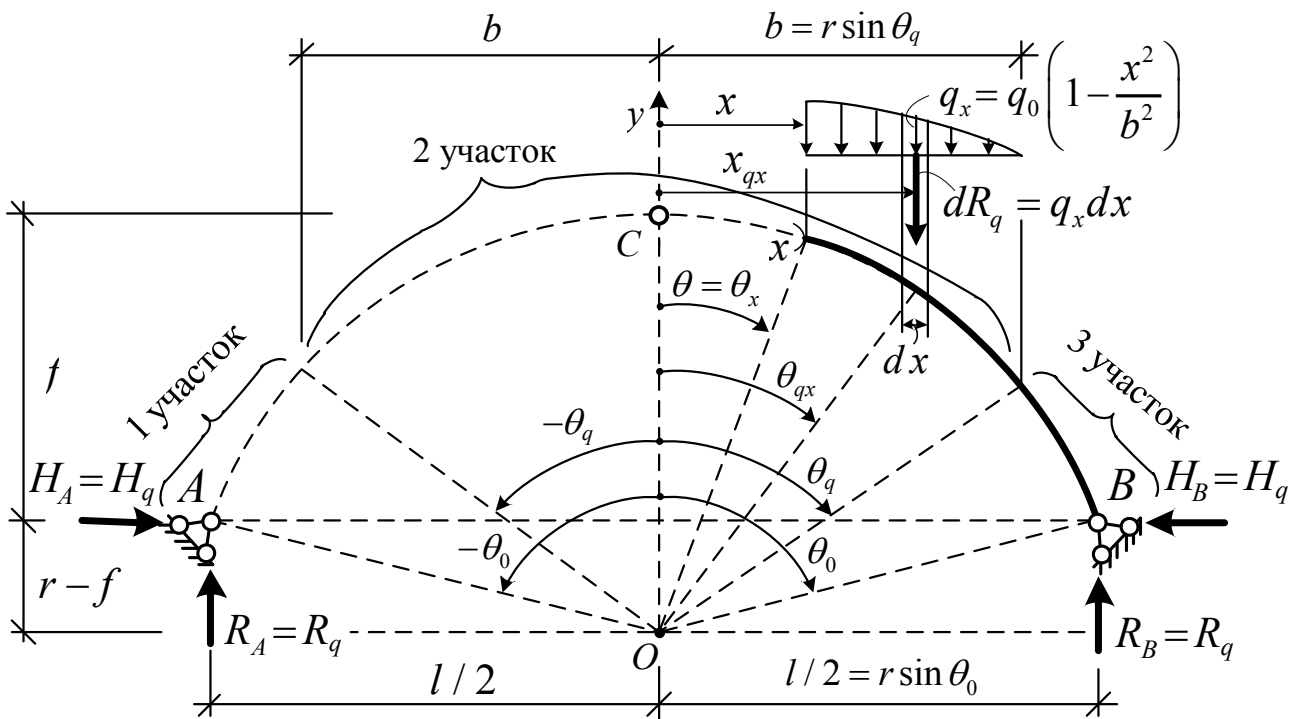


Рисунок 4 – Отсеченная правая часть арки

На участке 3 (без распределенной нагрузки) изгибающий момент в сечении найдем из рассмотрения правой части:

$$M_{q(3)} = R_q \left(\frac{l}{2} - x \right) - H_q y = R_q \left(\frac{l}{2} - r \sin \theta \right) - H_q [r \cos \theta - (r - f)] =$$

$$= R_q \frac{l}{2} + H_q (r - f) - R_q r \sin \theta - H_q r \cos \theta.$$

Поперечная сила на участках 1, 2 и 3 определится зависимостями:

$$Q_{q(1)} = H_q \sin \theta + R_q \cos \theta;$$

$$Q_{q(2)} = -R_q \cos \theta + H_q \sin \theta + \left[q_0 r \int_{\theta}^{\theta_q} \left(1 - \frac{r^2 \sin^2 \theta}{b^2} \right) \cos \theta d\theta \right] \cos \theta =$$

$$= H_q \sin \theta + \left(\frac{2}{3} q_0 b - R_q \right) \cos \theta - q_0 r \sin \theta \cos \theta + q_0 \frac{r^3}{3b^2} \sin^3 \theta \cos \theta;$$

$$Q_{q(3)} = H_q \sin \theta - R_q \cos \theta.$$

Продольная сила на участках 1, 2 и 3 определяется зависимостями:

$$N_{q(1)} = R_q \sin \theta - H_q \cos \theta;$$

$$N_{q(2)} = -R_q \sin \theta - H_q \cos \theta + \left[q_0 r \int_{\theta}^{\theta_q} \left(1 - \frac{r^2 \sin^2 \theta}{b^2} \right) \cos \theta d\theta \right] \sin \theta =$$

$$= \left(\frac{2}{3} q_0 b - R_q \right) \sin \theta - H_q \cos \theta - q_0 r \sin^2 \theta + q_0 \frac{r^3}{3b^2} \sin^4 \theta;$$

$$N_{q(3)} = -R_q \sin \theta - H_q \cos \theta.$$

На основе этих зависимостей выполним расчет усилий – изгибающих моментов M , поперечных и продольных сил Q и N – в сечениях арки, представленной на рисунке 3, с шагом $\Delta\theta = 10^\circ$ и построим эпюры усилий (рисунок 4) (ввиду симметричности системы покажем все для половины арки).

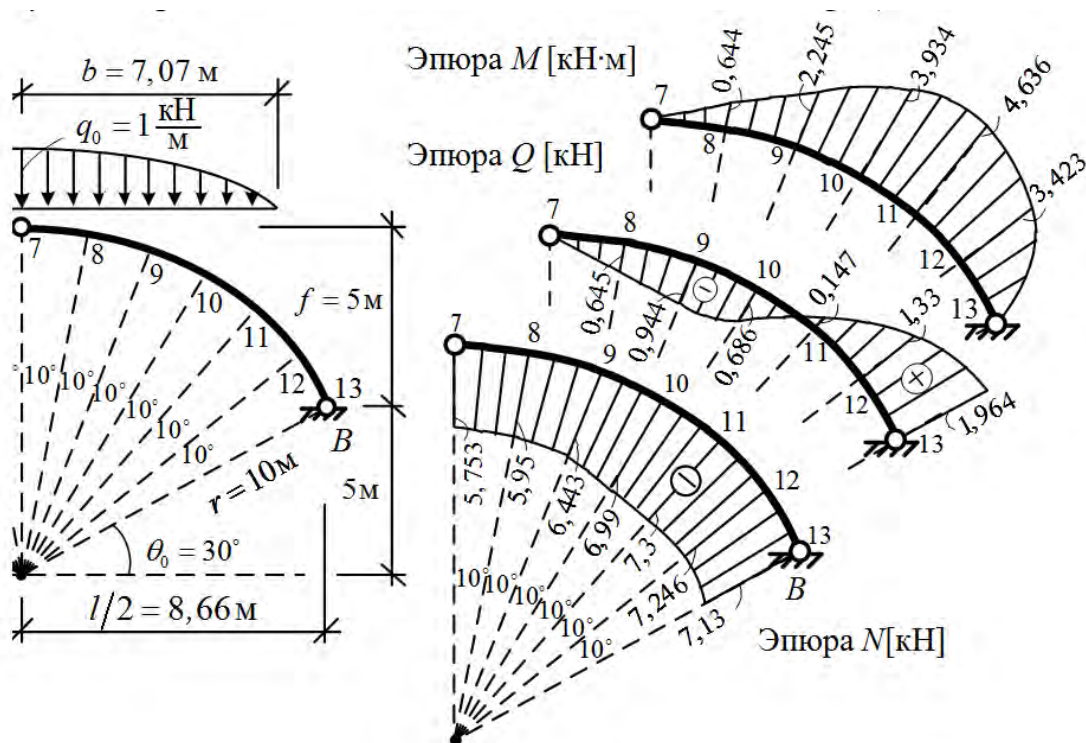


Рисунок 3 – Расчетная схема арки

Рисунок 4 – Эпюры внутренних сил

Список цитированных источников

1. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия. СН 2.01.05-2019. – Минск : Стройтехнорм, 2020. – 120 с.
2. Строительная механика. Стержневые системы: учебник для вузов / А. Ф. Смирнов [и др.] ; под ред. А. Ф. Смирнова. – М. : Стройиздат, 1981. – 512 с.

ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРУГОВЫХ АРОК, ЗАГРУЖЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ НАГРУЗКАМИ, РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПО ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ

Деформированный вид арок будет определен, если будут известны перемещения точек осей арок. Для определения перемещений воспользуемся формулой Мора [1]:

$$\Delta_{iP} = \sum \int \frac{\bar{M}_i M_P ds}{EJ} + \sum \int \eta \frac{\bar{Q}_i Q_P ds}{GA} + \sum \int \frac{\bar{N}_i N_P ds}{EA}. \quad (1)$$

Подставив в эту формулу зависимости изменения грузовых (от действия внешних нагрузок) и единичных (от действия единичной силы, приложенной в направлении искомого перемещения) эпюр усилий и выполнив интегрирование по участкам непрерывности эпюр и суммирование по этим участкам, получим искомое перемещение. В выражение для определения перемещений (1) входит три слагаемых, учитывающих соответственно действие трех видов, возникающих в системе внутренних сил M , Q и N и соответственно изгибных, сдвиговых и продольных деформаций. Вычисляя эти слагаемые отдельно, можно выявить влияние изгибных, сдвиговых и продольных деформаций на величины перемещений точек системы.

Для определения вертикальных перемещений сечений приложим к произвольной точке на оси сечения вертикальную единичную силу (рисунок 1) и от ее действия найдем опорные реакции и зависимости изменения внутренних сил.

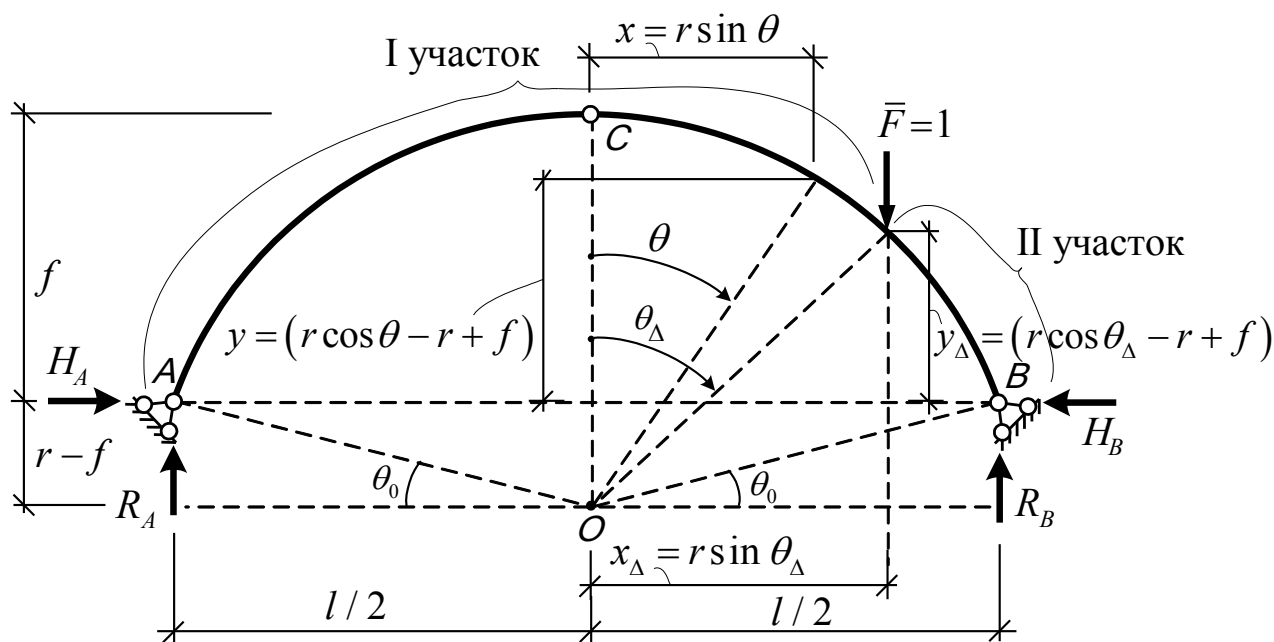


Рисунок 1 – Приложение единичной силы для определения вертикальных перемещений

Опорные реакции найдем из уравнений равновесия арки в целом и ее полуарок:

$$R_A = \frac{1}{2} - \frac{r}{l} \sin \theta_\Delta. \quad R_B = \frac{1}{2} + \frac{r}{l} \sin \theta_\Delta. \quad H_A = H_B = \frac{l}{4f} \left(1 - \frac{2r}{l} \sin \theta_\Delta \right).$$

Изгибающий момент, продольная и поперечная силы в сечениях арки от действия единичной вертикальной силы определяются выражениями:

а) на участке от опоры A до точки приложения силы (участок I) (рисунок 1):

$$\begin{aligned} \bar{M}_{\Delta\epsilon(1)} &= R_A \left(\frac{l}{2} + x \right) - H_A \cdot y = R_A \left(\frac{l}{2} + r \sin \theta \right) - H_A (r \cos \theta - r + f) = \\ &= \left(\frac{1}{2} + \frac{r}{l} \cos \theta_\Delta \right) \left(\frac{l}{2} - r \cos \theta \right) - \frac{l}{2f} \left(\frac{1}{2} - \frac{r}{l} \cos \theta_\Delta \right) r \left(\sin \theta - 1 + \frac{f}{r} \right) = \\ &= \left\{ r \left[\frac{l}{4f} + \left(1 - \frac{r}{2f} \right) \cos \theta_\Delta \right] \right\} + \left[-r \left(\frac{1}{2} + \frac{r}{l} \cos \theta_\Delta \right) \right] \cos \theta + \left[\frac{r}{f} \left(\frac{r}{2} \cos \theta_\Delta - \frac{l}{4} \right) \right] \sin \theta; \\ \bar{Q}_{\Delta\epsilon(1)} &= R_A \sin \theta - H_A \cos \theta = \left(\frac{1}{2} + \frac{r}{l} \cos \theta_\Delta \right) \sin \theta - \frac{l}{4f} \left(1 - \frac{2r}{l} \cos \theta_\Delta \right) \cos \theta; \quad (2) \end{aligned}$$

$$\bar{N}_{\Delta\epsilon(1)} = -H_A \sin \theta - R_A \cos \theta = -\frac{l}{4f} \left(1 - \frac{2r}{l} \cos \theta_\Delta \right) \sin \theta - \left(\frac{1}{2} + \frac{r}{l} \cos \theta_\Delta \right) \cos \theta;$$

б) на участке от точки приложения силы до опоры B (участок II) (рисунок 1):

$$\begin{aligned} \bar{M}_{\Delta\epsilon(II)} &= \bar{M}_{\Delta\epsilon(1)} - 1 \cdot (x - x_\Delta) = \bar{M}_{\Delta\epsilon(1)} - r (\cos \theta_\Delta - \cos \theta) = \bar{M}_{\Delta\epsilon(1)} - r (\cos \theta_\Delta - \cos \theta) = \\ &= \left[\frac{r}{2f} \left(\frac{l}{2} - r \cos \theta_\Delta \right) \right] + \left[r \left(\frac{1}{2} - \frac{r}{l} \cos \theta_\Delta \right) \right] \cos \theta + C_{\Delta 3} \sin \theta; \end{aligned}$$

$$\bar{Q}_{\Delta\epsilon(II)} = \bar{Q}_{\Delta\epsilon(1)} - 1 \cdot \cos \theta = \left(\frac{1}{2} + \frac{r}{l} \cos \theta_\Delta \right) \sin \theta - \frac{l}{4f} \left(\frac{4f}{l} + 1 - \frac{2r}{l} \cos \theta_\Delta \right) \cos \theta; \quad (3)$$

$$\bar{N}_{\Delta\epsilon(II)} = -R_A \cos \theta - H_A \sin \theta + 1 \cdot \cos \theta = -\frac{l}{4f} \left(1 - \frac{2r}{l} \cos \theta_\Delta \right) \sin \theta + \left(\frac{1}{2} - \frac{r}{l} \cos \theta_\Delta \right) \cos \theta.$$

Полученные зависимости изменения усилий от единичной силы (1)–(3) и зависимости внутренних сил от действия внешней нагрузки, которые определены в работе [2], подставляем в формулу Мора (1) и, выполняя интегрирование выражений, можем получить вертикальные перемещения любой точки системы.

Для определения горизонтальных перемещений сечений с использованием формулы Мора (1) приложим к точке на оси сечения горизонтальную единичную силу (рисунок 2), от ее действия найдем зависимости изменения усилий.

Опорные реакции найдем из уравнения равновесия арки в целом и ее полуарок:

$$R_A = R_B = \frac{r}{l} \left(\cos \theta_\Delta - 1 + \frac{f}{r} \right); \quad H_B = \frac{r}{2f} \left(1 + \frac{f}{r} - \cos \theta_\Delta \right); \quad H_A = \frac{r}{2f} \left(\cos \theta_\Delta - 1 + \frac{f}{r} \right).$$

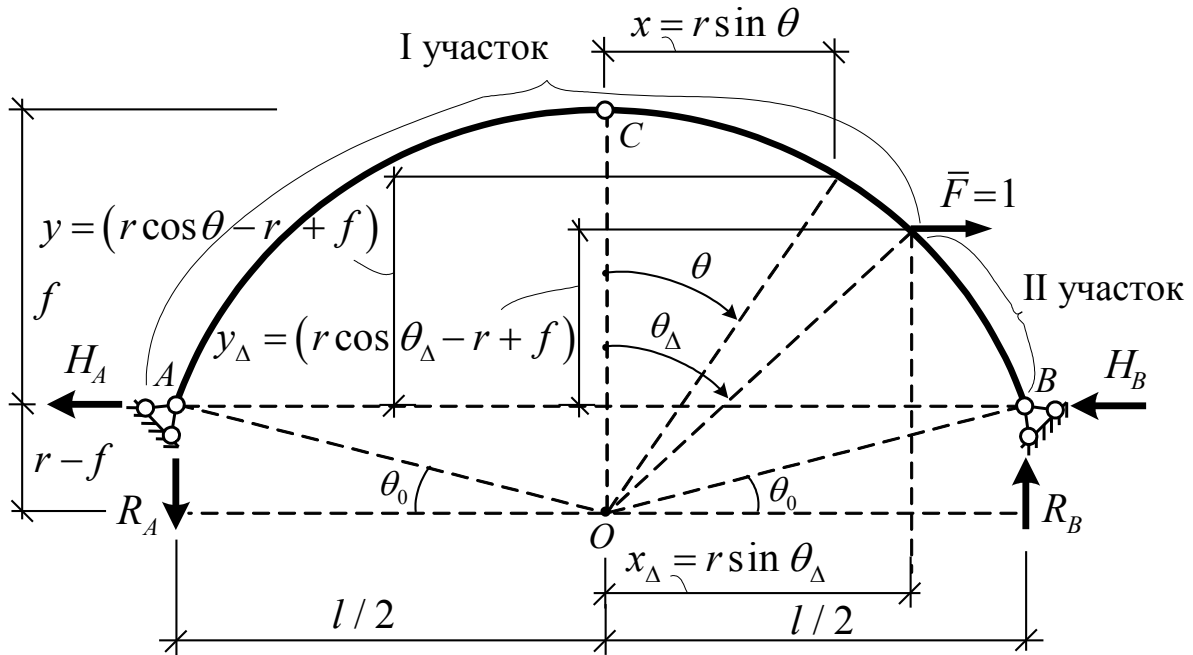


Рисунок 2 – Приложение единичной силы для определения горизонтальных перемещений

Изгибающий момент, продольная и поперечная силы в сечениях арки определяются выражениями:

а) на участке от опоры A до точки приложения силы (участок I) (рисунок 2):

$$\begin{aligned} \bar{M}_{\Delta z (I)} &= R_A y - H_A x = \frac{y_\Delta}{l} (r \cos \theta - r + f) + \frac{y_\Delta}{2f} r \sin \theta = \\ &= \frac{r^2}{2f} \left[\left(1 - \frac{2f}{r} \right) \sin \theta_\Delta - 1 + \frac{f}{r} \right] + r \left[\frac{r}{2f} (1 - \sin \theta_\Delta) + \frac{1}{2} \right] \sin \theta + r \left[\frac{r}{l} (\cos \theta_\Delta - 1) + \frac{f}{l} \right] \cos \theta; \\ \bar{Q}_{\Delta z (I)} &= -R_A \cos \theta - H_A \sin \theta = -\frac{y_\Delta}{2f} \sin \theta - \frac{y_\Delta}{l} \cos \theta. \end{aligned} \quad (4)$$

$$\bar{N}_{\Delta z (I)} = -R_A \sin \theta + H_A \cos \theta = -\frac{y_\Delta}{l} \sin \theta + \frac{y_\Delta}{2f} \cos \theta,$$

б) на участке от точки приложения силы до опоры B (участок II) (рисунок 2):

$$\begin{aligned} \bar{M}_{\Delta z (II)} &= \bar{M}_{\Delta z (I)} - 1 \cdot (y - y_\Delta) = \bar{M}_{\Delta z (I)} - r (\sin \theta - \sin \theta_\Delta) = \\ &= \frac{r^2}{2f} \left[\sin \theta_\Delta - 1 + \frac{f}{r} \right] + r \left[\frac{r}{2f} (1 - \sin \theta_\Delta) - \frac{1}{2} \right] \sin \theta + r \left[\frac{r}{l} (\cos \theta_\Delta - 1) + \frac{f}{l} \right] \cos \theta; \\ \bar{Q}_{\Delta z (II)} &= \bar{Q}_{\Delta z (I)} - 1 \cdot \cos \theta = \frac{r}{l} \left(1 - \sin \theta_\Delta - \frac{f}{r} \right) \sin \theta + \frac{r}{2f} \left(1 - \frac{f}{r} - \sin \theta_\Delta \right) \cos \theta; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\bar{N}_{\Delta z (II)} = R_A \cos \theta + H_A \sin \theta - 1 \cdot \sin \theta = \frac{r}{l} \left(1 - \sin \theta_{\Delta} - \frac{f}{r} \right) \cos \theta + \frac{r}{2f} \left(1 - \frac{f}{r} - \sin \theta_{\Delta} \right) \sin \theta.$$

Полученные зависимости изменения усилий от единичной силы и зависимости внутренних сил от действия внешней нагрузки, определенные в работе [2], подставляем в формулу Мора (1) и, выполняя интегрирование выражений, можем получить горизонтальные перемещения любой точки системы.

Полные перемещения точек определяются по формуле:

$$\Delta = \sqrt{(\Delta^{верт})^2 + (\Delta^{гор})^2}. \quad (6)$$

На основе полученных зависимостей для арки, представленной на рисунке 3 (ввиду симметричности системы показываем ее половину) и выполненной из стального двутавра № 50, выполним расчет перемещений сечений с шагом $\Delta\theta = 10^\circ$, результаты которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Перемещения узловых точек арки, м

№ узла	1	2	3	4	5	6	7
Перемещение							
по горизонтали	0	-0,0274	-0,0381	-0,0314	-0,0172	-0,0046	0,0
по вертикали	0	0,0192	0,0296	0,0204	-0,0108	-0,0572	-0,1092
полное		0,0330	0,0482	0,0374	0,0203	0,0579	0,1092

№ узла	8	9	10	11	12	13
Перемещение						
по горизонтали	-0,0046	-0,0172	-0,0314	-0,0381	-0,0274	0
по вертикали	-0,0572	-0,0108	0,0204	0,0296	0,0192	0
полное	0,0579	0,0203	0,0374	0,0482	0,0330	0

На основании полученных результатов строим в выбранном масштабе деформированный вид арки, представленный на рисунке 4.

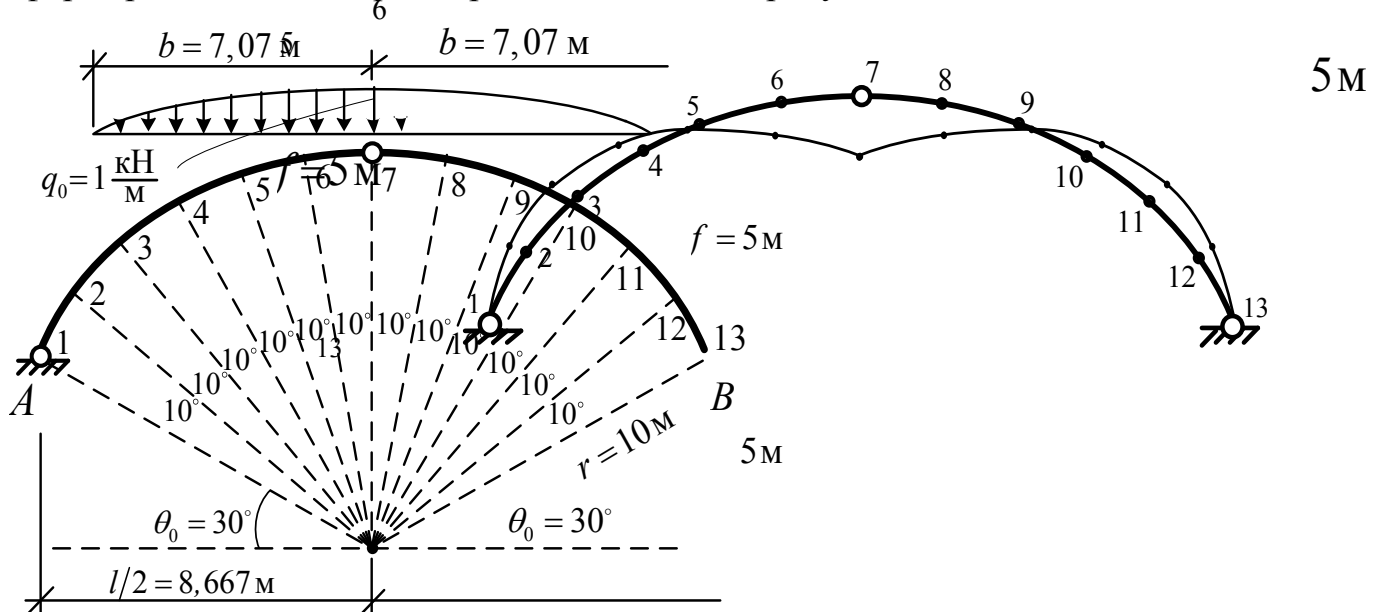


Рисунок 3 – Расчетная схема арки

Рисунок 4 – Деформированный вид арки (в масштабе перемещений 7:1)

Список цитированных источников

1. Игнатюк, В. И. Строительная механика. Статика и устойчивость стержневых систем : учеб.-метод. пособие // В. И. Игнатюк, В. В. Тур / Брест. гос. техн. ун-т. – Брест : БрГТУ, 2022. – 236 с.
2. Бекиш, Е. О. К определению усилий в круговых трехшарнирных арках, нагруженных вертикальными распределенными по параболической зависимости нагрузками / Е. О. Бекиш, А. В. Крук // Сб. конкурс. науч. работ студ. и магистр. / Брест. гос. техн. ун-т. – Брест, 2022.

УДК 624.151.5

Аношко-Мостовой Е. А., Забавко А. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Бочарова Н. В.

РАСЧЕТ МОНОЛИТНОЙ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «ЛИРА-САПР»

При расчете конструкций на упругом основании возникают проблемы учета распределительных свойств основания, которые игнорируются в простейшем случае винклерова основания. Большинство реальных грунтов обладает распределительной способностью, когда, в отличие от винклеровой расчетной схемы, в работу вовлекаются не только непосредственно нагруженные части основания, но и примыкающие к ним области ненагруженного грунта. Следовательно, для учета распределительной способности основания необходимо, во-первых, использовать модели основания, отличные от винклеровой, и, во-вторых, ввести в расчетную схему те части основания, которые расположены за пределами фундаментной конструкции [1].

На сегодняшний день известны десятки предложений по совершенствованию механической модели грунтового основания, но, по-видимому, следующим по простоте математической постановки задачи после винклеровой модели шагом явилась разработка модели упругого основания с двумя коэффициентами постели (рисунок 1). Модель основания с двумя коэффициентами постели позволяет учитывать распределительную способность грунта. В этой модели z-образные абсолютно жесткие элементы соединены с землей совокупностью пружин, являющихся дискретным аналогом коэффициента C_1 (характеризующего жесткость основания на сжатие), тогда как пружины, расположенные между соседними z-образными элементами, служат дискретным аналогом коэффициента C_2 (характеризующего жесткость основания на сдвиг)

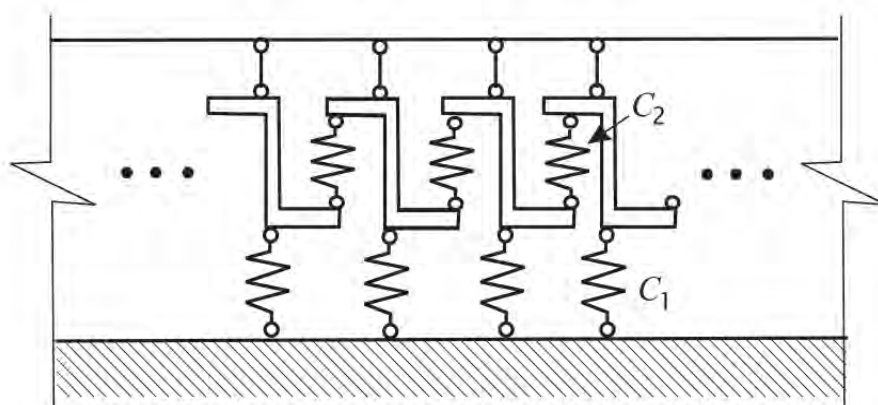


Рисунок 1 – Модель основания с двумя коэффициентами постели C_1 , C_2

Целью исследовательской работы является разработка алгоритма выполнения расчета монолитной фундаментной плиты в программном комплексе «ЛИРА-САПР» на упругом основании с двумя коэффициентами постели.

Программный комплекс «ЛИРА-САПР» – многофункциональный программный комплекс для проектирования и расчета строительных конструкций различного назначения на статические (силовые и деформационные) и динамические воздействия. Реализованный метод расчета – метод конечных элементов (МКЭ), после получения усилий имеется возможность выполнить армирование сечений железобетонных и сталежелезобетонных конструкций [2; 3].

Приняты следующие характеристики конструкции для исследования: фундаментная плита размерами 12 x 15 метров и толщиной 0,5 метра, с конструктивным вырезом размерами 5 x 4,5 метров.

Сбор нагрузок на фундаментную плиту выполнили в соответствии с требованиями ТКП EN [4]:

- постоянное воздействие: собственный вес конструкции, нагрузка от колонн, стен, полов;

- снеговые и ветровые нагрузки приняты по ТКП EN [5; 6] для соответствующего района и с учетом размеров, формы и динамических свойств сооружения.

Алгоритм расчета фундаментной плиты на упругом основании в программном комплексе «ЛИРА-САПР» включает следующие шаги:

1. Формируется плита заданных размеров на вкладке «Генерация плиты».

2. Задается жесткость для фундаментной плиты как для пластины (E, ν, H, Ro), прикладывается на элементы пластины распределенная нагрузка.

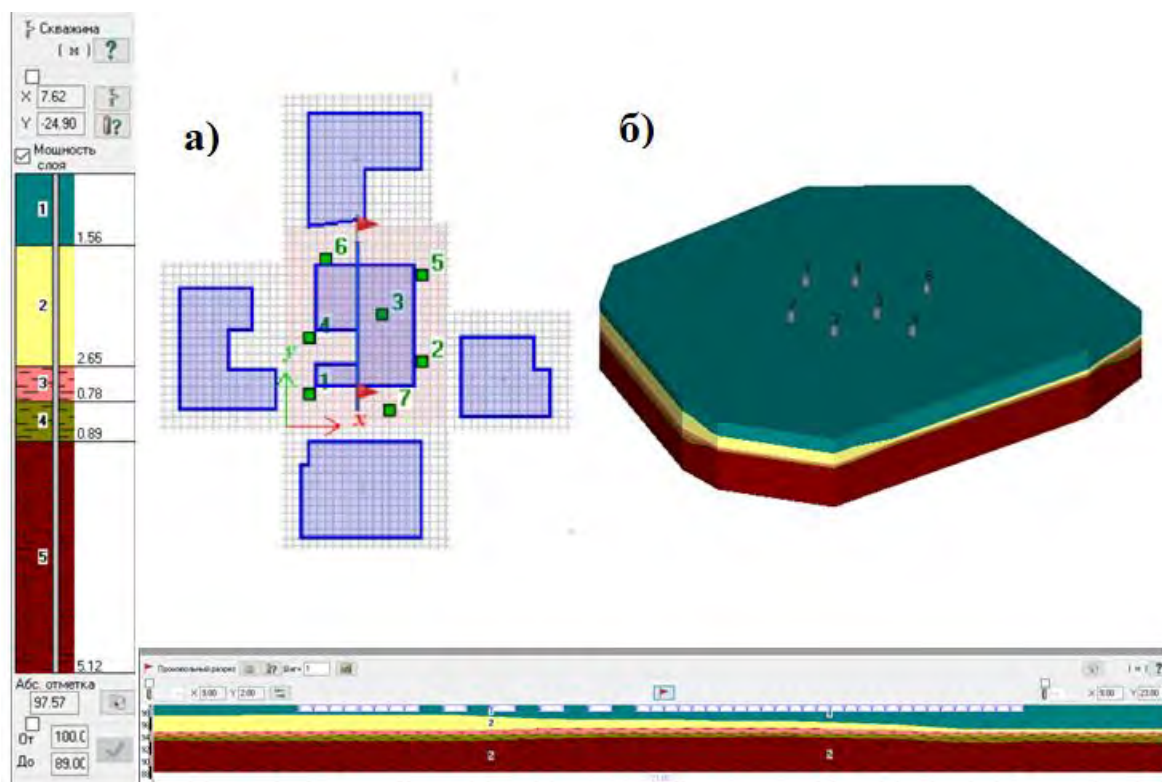
3. Подключается модель грунта к файлу, используя инструмент «ГРУНТ», на вкладке подключения задаются наиболее актуальные нормы; учитывается вес грунта выше отметки приложения нагрузки. В методе расчёта коэффициентов C_1, C_2 выбирается модифицированная модель Пастернака «Метод 3». «Метод 3» носит экспериментальный характер и основывается на инженерном опыте в предположении о том, что модуль деформации грунта увеличивается по глубине. Этот метод в какой-то мере устраняет недостатки первых двух. У «Метода 1» – это невозможность учесть нарастание модуля деформации грунта по глубине, что приводит к завышенным значениям осадок, а, следовательно, и заниженным значения коэффициента постели C_1 . Недостаток «Метода 2» заключается в том, что в местах резкого изменения величин приложенных нагрузок коэффициент постели C_1 также испытывает резкий скачок, что не верно. Этот недостаток сохраняется даже при использовании нарастающего по глубине модуля деформации грунта.

4. Задаются характеристики грунтов, слагающих основание (в столбце «Вода» указываются буквой «W» все водонасыщенные слои грунта, которые имеют вес именно в водонасыщенном состоянии) (рисунок 2).

5. Создается сеть, на которой размещаются скважины в соответствующих инженерно-геологическим изысканиям точках, а также габариты соседних зданий с заданной на грунт средней нагрузкой от здания (рисунок 3а).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Номер ИГЭ	Усл. обозн.	Наименование грунта	Цвет	Модуль деформации, кН/м ²	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, кН/м ³	Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, доли	Показатель текучести	Вода	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, кН/м ²	Угол внутреннего трения, °	Предельно допустимое напряжение, кН/м ²
2	1		Суглинок		9156	0.35	17.152	5	0.05	0.2		0.7	4.90332	16	0.98066
3	2		Суглинок без W		8059	0.35	17.932	5	0.25	0.3		0.72	5.986	22	0.19613
4	3		Суглинок с W		8059	0.35	10.025	5	0.26	0.3 W		0.72	5.986	22	1.5690
5	4		Песок		17965	0.3	10.3384	5	0.17	W		0.68	0.101	30	3.9226
6	5		Глина		10035	0.42	9.5588	5	0.02	0.5 W		0.8		16	9.8066

Рисунок 2 – Характеристики грунтов по данным инженерно-геологических изысканий



а – расположение скважин и соседних зданий,
 б – построенная автоматически модель грунта
 Рисунок 3 – Результаты работы инструмента «ГРУНТ»

6. Располагается фундаментная плита на сформированную автоматически модель грунта (рисунок 3б), задаются предварительно для первой итерации коэффициенты постели C_1 и C_2 .

7. Плита фиксируется в направлении горизонтальных перемещений. Это выполняется несколькими способами, например, назначаются связи в каждом узле, но при этом мы получим не совсем верную схему напряжений, а также потеряем мембранную группу усилий. Как один из вариантов: назначаются связи в крайних узлах, но таким образом можно вызвать концентрацию напряжений в этих узлах. Воспользуемся другим методом, а именно, введением упругих связей по контуру плиты (вводится конечный элемент 5б на крайние узлы расчетной схемы фундаментной плиты).

8. Выполняем расчёт фундаментной плиты на упругом основании, далее в окне анализа получаем эпюру напряжений R_z – это напряжения под подошвой

фундамента от приложенных нагрузок (рисунок 4), и теперь нам необходимо передать эти нагрузки в модуль «ГРУНТ», для этого необходимо активировать кнопку «отпор грунта», которая находится на вкладке инструменты, повторяем расчет уже с учетом усилий от грунта, повторяем итерации до тех пор, пока коэффициенты постели соседних итераций не будут удовлетворять заданной точности решения задачи (рисунок 5а, б).

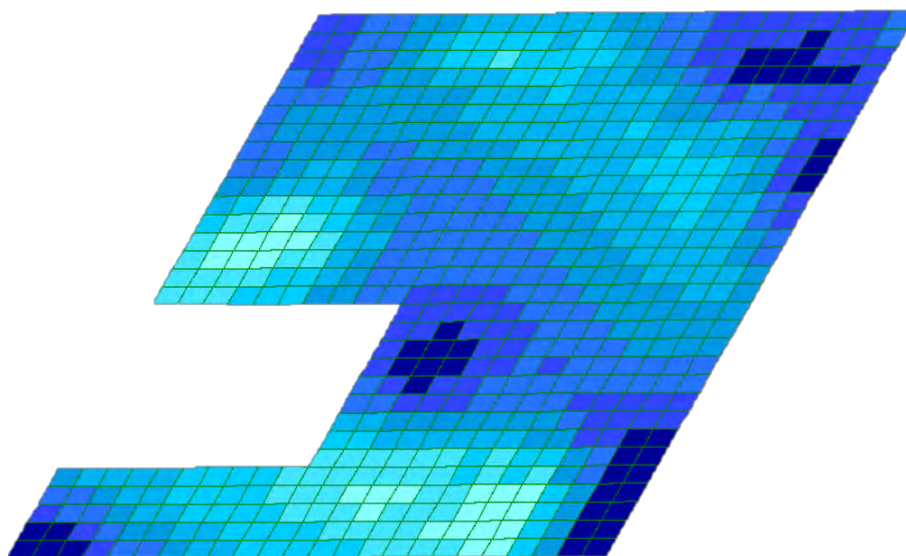
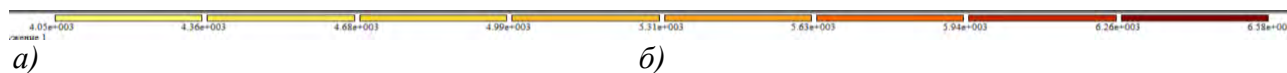
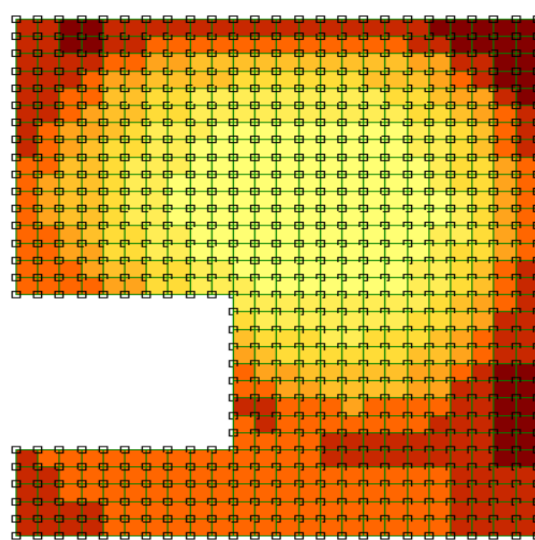
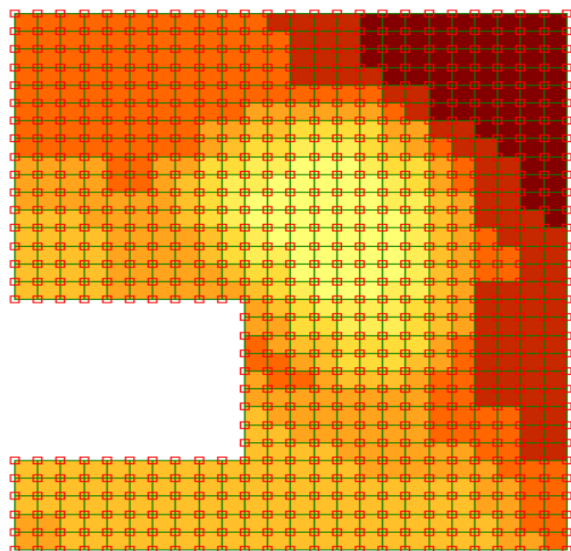


Рисунок 4 – Эпюра напряжений под подошвой фундамента от приложенных нагрузок (R_z)



а)

б)

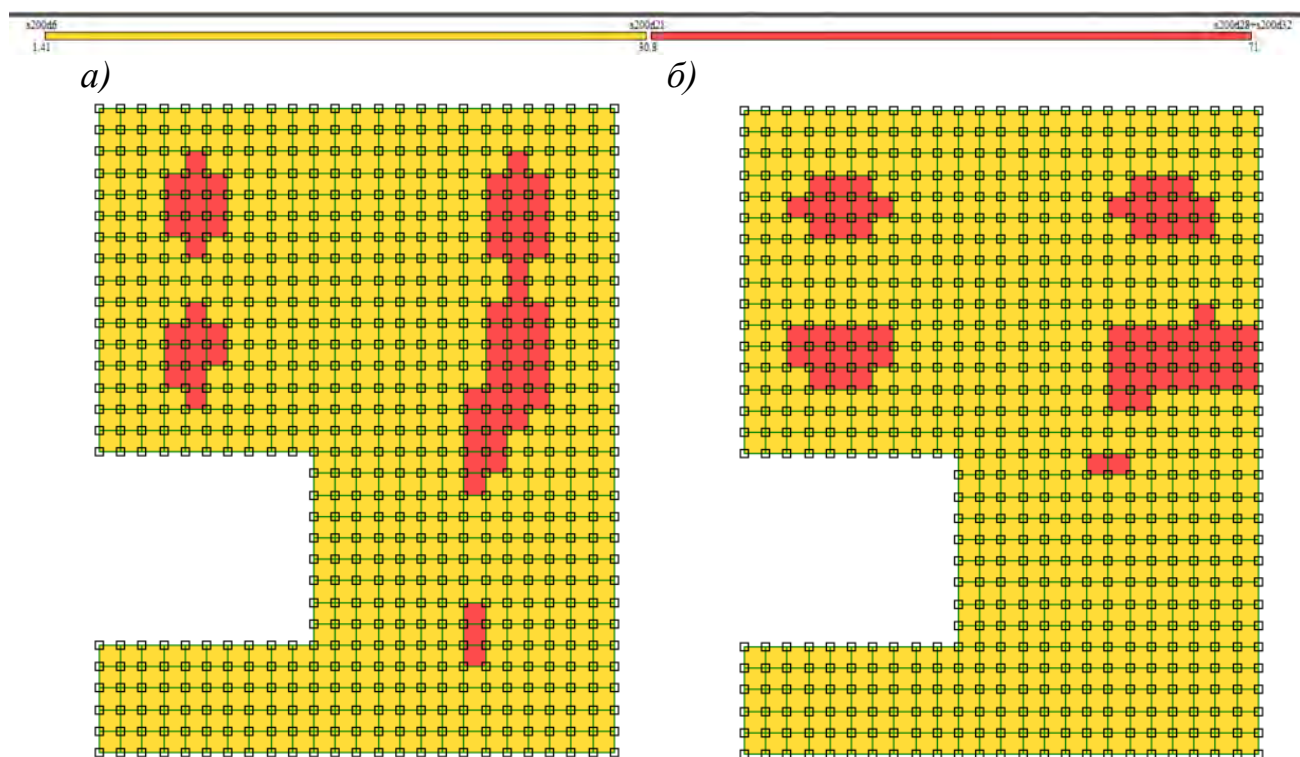


а – первая итерация, б – третья итерация

Рисунок 5 – Эпюра коэффициента постели $C1z$, кН/м³

9. После получения усилий и перемещений плиты, удовлетворяющих всем требованиям, переходим к этапу армирования фундаментной плиты. На вкладке конструирование имеется возможность проанализировать площади армирования. Для нижней арматуры вдоль осей X и Y армирование представлено на ри-

сунке 6, аналогично получается армирование и в верхней зоне фундаментной плиты, для колонн при необходимости выполняется расчет на продавливание.



а – нижняя в направлении по оси X, б – нижняя в направлении по оси Y

**Рисунок 6 – Армирование фундаментной плиты
(дополнительная арматура 32 шаг 200 мм)**

В ходе выполнения данной исследовательской работы была реализована методика расчета фундаментной плиты на упругом основании с учетом двух коэффициентов постели C_1 , C_2 модифицированная (модель Пастернака) в программном комплексе «ЛИРА-САПР», включающая в себя теоретические указания по некоторым особенностям создания модели грунта (модуль «ГРУНТ») и совместной работы фундаментной плиты и упругого основания.

Список цитированных источников

1. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа / под ред. А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – М. : ДМК, 2009. – 596 с.
2. Введение в программный комплекс Лира 10.4: учебное пособие / О. А. Ковальчук [и др.]; М-во образования Российской Федерации. – Москва : НИУ МГСУ, 2015. – 185 с.
3. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций : справочно-теоретическое пособие / под ред. Академика АИН Украины А. С. Городецкого [и др.]. – Киев, 2003. – 434 с.
4. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций: ТКП EN 11990-2011. – М. : МАиС, 2012.
5. Воздействие на конструкции. Ч. 1–3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки: ТКП EN 1991-1-3 – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 52 с.
6. Воздействие на конструкции. Общие воздействия. Ч. 1–4. Ветровые воздействия: ТКП EN 1991-1-4 – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 120 с.

ТЕПЛОВАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ ФАСАДОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Установлено, что в панельных зданиях, эксплуатируемых более тридцати лет, произошло существенное снижение сопротивления теплопередаче наружного ограждения. Основной причиной этого является разрушение материала теплоизоляционного слоя стеновых панелей. Результаты натурных обследований эксплуатируемых панельных зданий показали, что техническое состояние бетона и узлов в конструктивных элементах (закладные детали, сварные швы и др.), находятся в рабочем состоянии. Следовательно, восстановление тепловой реабилитации наружных стеновых панелей позволяет обеспечить комфортное проживание в эксплуатируемых панельных зданиях.

На сегодня основным, массово применяемым решением тепловой реабилитации стенового ограждения является устройство легкой штукатурной системы. Как показала практика, устройство легкой штукатурной системы является трудоемким полумеханизированным технологическим процессом, который полностью выполняется на строительной площадке.

Наряду с высокой трудоемкостью устройства легкой штукатурной системы для устройства теплоизоляционного покрытия высокого качества должны быть строго соблюдены технологические перерывы, общая продолжительность которых составляет более 10 суток.

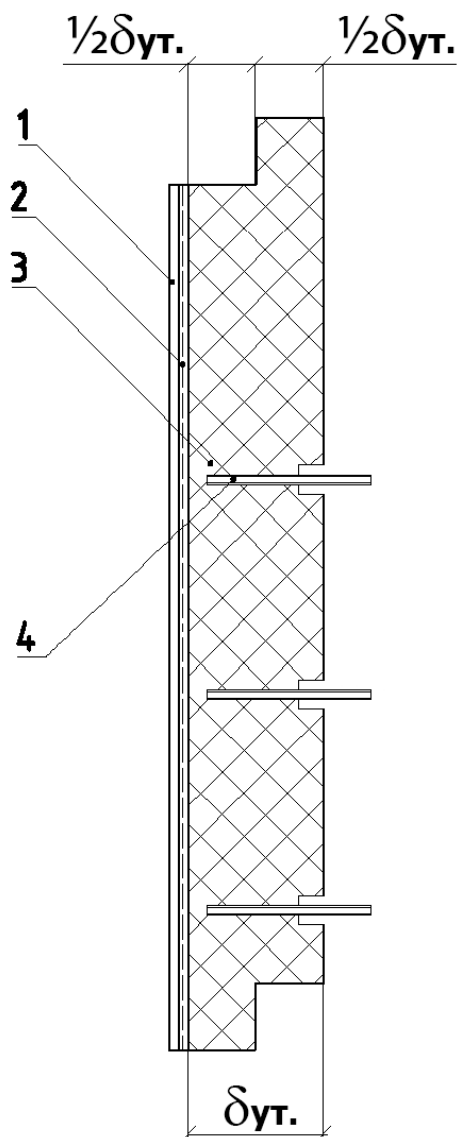
На сегодня в Республике Беларусь основной объем работ по тепловой модернизации фасадов выполняется в зданиях с наружными стенами из искусственных штучных материалов (кирпич, блоки). Легкая штукатурная система для тепловой модернизации фасадов панельных зданий применяется в ограниченных объемах. Основными причинами, сдерживающими применение этой технологии, являются:

- существенное увеличение трудоемкости производства работ за счет большой протяженности стыков между стеновыми панелями;
- локальные динамические воздействия на подоснову и плитный утеплитель при установке анкерных устройств.

Предлагаемое конструктивно-технологическое решение тепловой реабилитации фасадов эксплуатируемых панельных зданий базируется на применение теплоизоляционных облицовочных плит, которые изготавливаются в специализированных цехах (рисунок 1) [1].

Теплоизоляционные облицовочные плиты поставляется на объект полностью готовые к монтажу. За счет этого трудоемкость работ по тепловой реабилитации фасадов существенно уменьшится, т. к. из технологического процесса исключаются следующие ручные операции: установка анкерных устройств, устройство армированного и декоративно-защитного слоев. Применение в конструкции теплоизоляции между теплоизоляционными облицовочными плитами стыков типа «фолдинг» позволяет исключить появление «мостиков холода».

Крепление теплоизоляционных облицовочных плит к стеновому ограждению выполняется в полном соответствии с технологией, рекомендуемой [2].



1 – декоративно-защитный слой (включает штукатурку и окраску);
 2 – армирующий слой (ССШ-160); 3 – теплоизоляция из плитного утеплителя;
 4 – стеклопластиковые анкеры-кронштейны

Рисунок 1 – Теплоизоляционная облицовочная плита

Рекомендуется крепление теплоизоляционных облицовочных плит выполнять с двухместных электрофицированных люлек.

Предлагаемое конструктивно-технологическое решение тепловой реабилитации эксплуатируемых панельных зданий позволяет существенно снизить трудоемкость и повысить качество работ при утеплении фасадов зданий; проводить работы без отселения жильцов, за счет применения стыка типа «фолдинг» исключить появление «мостиков холода» в межпанельных швах в процессе эксплуатации зданий.

Список цитированных источников

1. Патент «Теплоизоляционная облицовочная стеновая панель»: пат. № 8892 Респ. Беларусь, МПК (2012) Е 04В 1/76 / В. Н. Черноиван, В. Г. Новосельцев, Н. В. Черноиван; заявитель Брест. гос. тех. ун-т. – заяв. и 20120370. стр. 221. № 6 бюллетень.

2. Технологическая карта на устройство легкой штукатурной системы «Илмакс»: ТК-100289293.1211-2020. – Минск : Минстройархитект РБ, 2020.

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ ПОКРЫТИЯ В ПК SOLIDWORKS

Введение

Сегодня легкие строительные конструкции из тонкостенных холодногнутых профилей нашли широкое применение в строительной индустрии. Характерными чертами легких стальных тонкостенных конструкций являются: малая металлоемкость, высокая технологичность, высокая степень заводской готовности. Конструкции, выполненные из холодногнутых профилей, получили широкое применение в несущих элементах зданий и сооружений различного назначения, так как их использование позволяет значительно уменьшить расход стали в сравнении со стандартными решениями.

Целью исследовательской работы является рассмотрение современных и технологичных методов проектирования на примере конструкции пологого купола, выполненного в программном комплексе (ПК) SolidWorks, и оценка полученных результатов расчета и подбор оптимального сечения элементов для несущих ребер.

Объектом исследования является пространственная стержневая система (купол) размерами $R = 6,07$ м; $r=0,5$ м, с заданными конструктивными особенностями, которые используются в современном строительстве в основном для перекрытия больших пролетов с целью уменьшения расхода применяемых материалов и облегчения конструкций. Трехмерная параметрическая модель стержневой системы выполнена в ПК SolidWorks, а статический расчет в интегрированном модуле Simulation. К куполу предъявляются такие требования, как прочность, жёсткость, надёжность, устойчивость.

Проектирование купола в SolidWorks [1; 4; 6]

Проектирование и расчет купола осуществляется в несколько этапов, которые включают в себя разработку эскизов для элементов конструкции, создание стержневой системы, создание твердотельной параметрической модели купола (рисунок 1а).

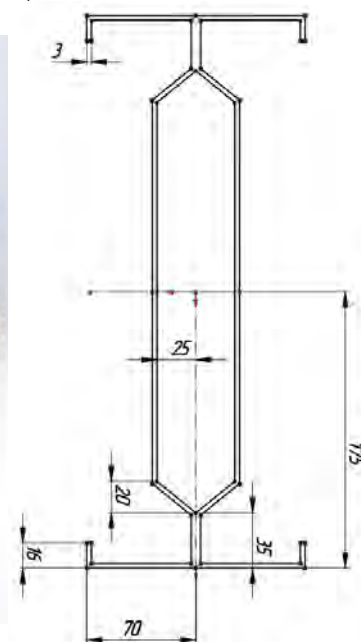
Создание стержневой системы начинаем с создания эскиза профилей для элементов конструкции. Сечение лучей выполняем из двух спаренных профилей, характеристики сечения взяты с сортамента тонкостенных элементов (рисунок 1б). Между несущими ребрами есть промежуточные элементы, выполненные из одиночных профилей 140 х 3.2 мм. Опорное кольцо выполнено из труб прямоугольного сечения 160 х 80 х 5мм ГОСТ 30245-2003, данное кольцо воспринимает максимальную нагрузку.

Используя инструменты построения эскизов в SolidWorks: «3D-эскиз», «12-тиугольник», «автоматическое нанесение размеров», «вспомогательная плоскость», «круговой массив», по нужным размерам выполним эскизы параметрической модели пространственной стержневой системы.

а)



б)



а) – твердотельная параметрическая модель купола,
 б) – эскиз поперечного сечения профиля несущего ребра
Рисунок 1 – Исследуемая конструкция – купол

Далее с помощью функции «Конструкция» («Вставка» ► «Сварные детали» ► «Конструкция») получим твердотельную параметрическую модель купола, которую выполним с помощью разработанной базы стальных тонкостенных холодноформованных профилей типа «Σ» и стандартного прямоугольного профиля.

Расчет на прочность

Для расчёта на прочность в SolidWorks Simulation необходимо последовательное выполнение основных шагов – алгоритм статического расчета:

а) задаётся материал деталей профиля купола – это простая углеродистая сталь;

б) определяются виды и места креплений купола – это узловые точки опорного кольца (рисунок 2);

в) прикладывается внешняя нагрузка в узлы стержневой системы (рисунок 2), которая была собрана по ТКП EN [2; 3; 5];

г) задается сетка для исследования. Создание сетки зависит от активных параметров формирования сетки, в зависимости от того как твердое тело учитывается в расчете: «Балка» или «Стержень»;

д) Запускается статическое исследование.

Для возможности оценки годности детали необходимо понимать, какие критерии являются определяющими. Основными критериями оценки несущей способности конструкции являются прочность (коэффициент запаса прочности или FOS), перемещение, напряжение.

Коэффициент запаса прочности (FOS) в какой-либо точке определяется как частное предела текучести и эквивалентного напряжения в данной точке.

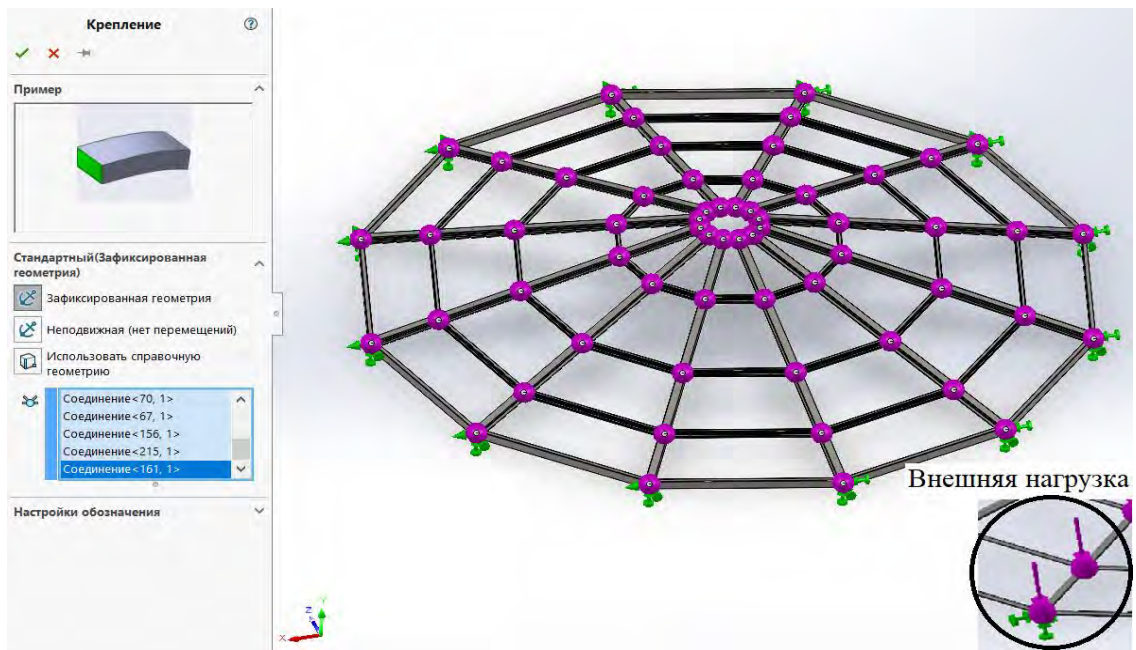
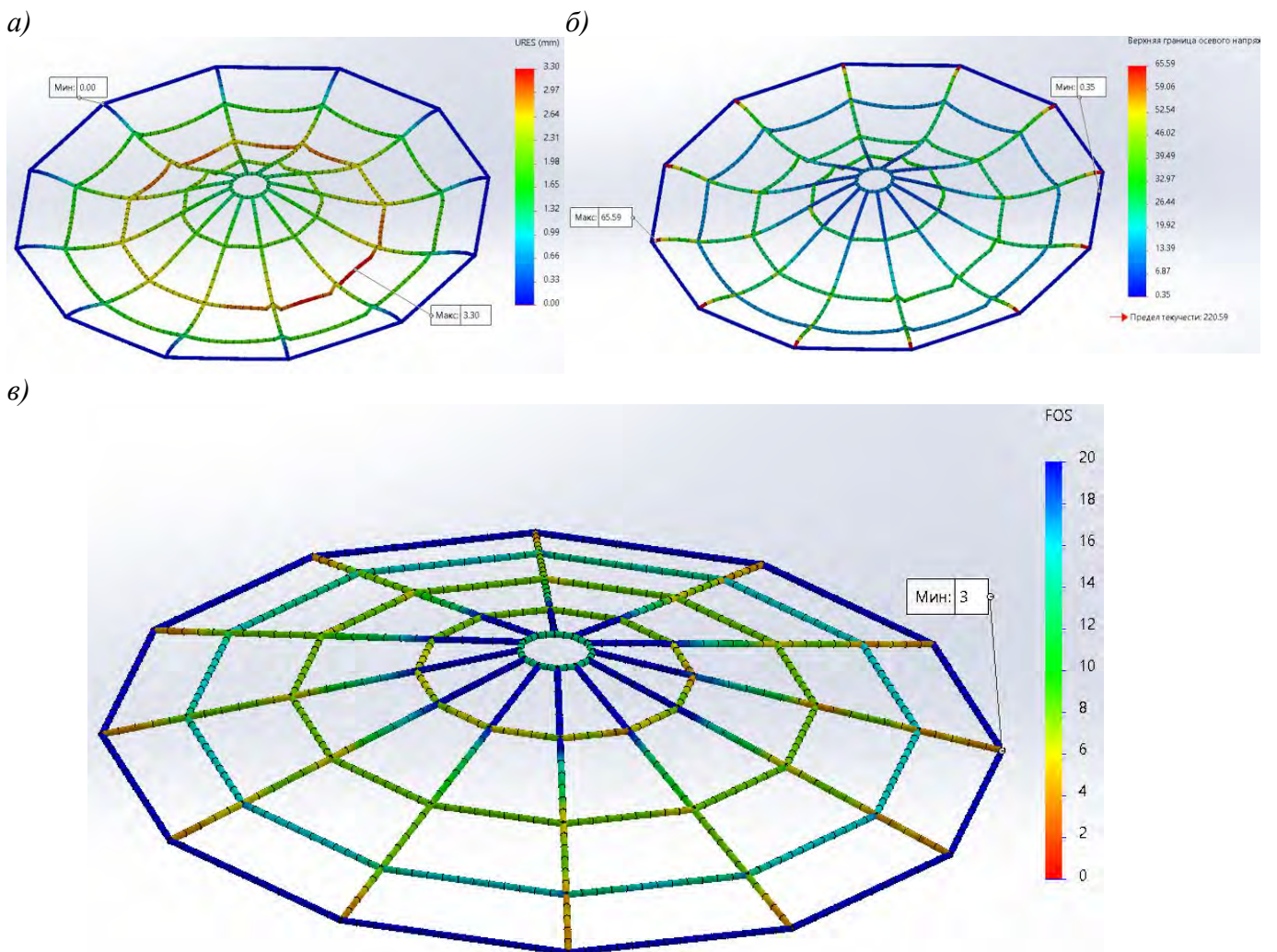


Рисунок 2 – Закрепление стержневой системы и задание внешней нагрузки



*а) – эпюра перемещений ($\max = 3,3$ мм),
б) – эпюра напряжений ($\max = 65,69$ МПа), в) – эпюра запаса прочности ($\max = 3$).
Рисунок 3 – Результаты статического расчета*

После расчёта определяются эпюры напряжений, перемещений и запаса прочности (рис. 3). По результатам расчета максимальные напряжения в модели не превышают предела текучести материала, работа конструкции не выходит за зону упругости материала, по эпюре перемещений – перемещения под нагрузкой составляют 3,3 мм (рисунок 3а), по эпюре напряжений – максимальные напряжения составляют 65,59 МПа (рисунок 3б), по цветовой диаграмме запаса прочности (рисунок 3в) можно определить места, где имеются опасные сечения и, где коэффициент запаса прочности слишком большой и имеется возможность провести оптимизацию по массе (сечение элементов подобрать меньшего размера).

Задание ветровой нагрузки [1; 4; 6]

Для задания ветровой нагрузки был изучен и использован модуль FlowSimulation – это инструмент численного моделирования, основанный на методе конечных объёмов. Сеточный алгоритм FlowSimulation обладает свойством адаптивности в самом широком смысле этого понятия, согласовывая сетку с формой тел, поверхностей раздела, проходных сечений, а также позволяя автоматически перестраивать ее в процессе расчета.

Возможности FlowSimulation, например, использование рассчитанных усилий и температур в качестве граничных условий в прочностном анализе Simulation позволяют более точно задать внешние нагрузки.

Для расчета ветровой нагрузки на стержневую систему в FlowSimulation необходимо последовательное выполнение основных шагов: устанавливается тип задачи для проекта: «Внешняя»; для анализа потока используем среду – воздух «Air»; начальные условия: скорость ветра (30 м/с), давление (101325 Па, температура 293,2 К); устанавливается глобальная цель – «Определить полное максимальное давление» и настраивается сетка; запускается расчет. Результаты расчета представлены на рисунке 4, которые могут быть экспортированы в среду Simulation для определения несущей способности конструкции от ветрового воздействия.

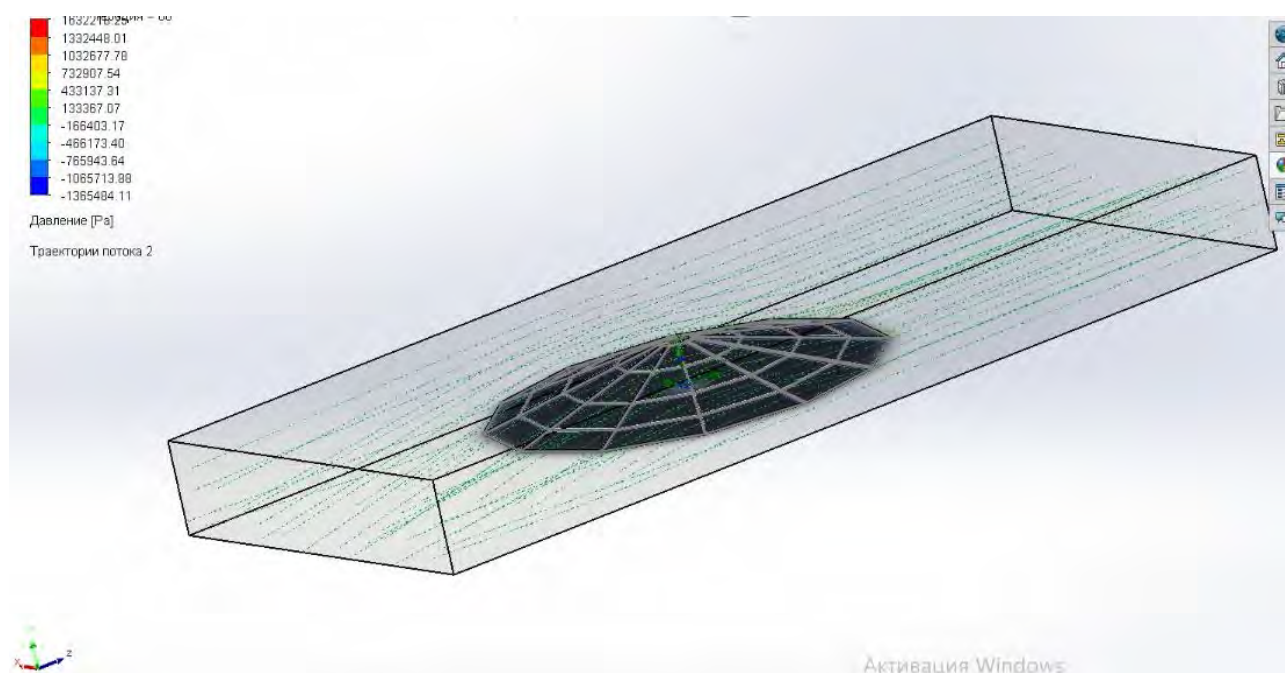


Рисунок 4 – Результаты расчета (давление от потока ветра) модуля FlowSimulation

Частотный анализ в ПК SolidWorks Simulation

Для такой стержневой системы необходимо определить собственные частоты – это частоты, на которых конструкция сама будет колебаться после отклонения от положения равновесия, для этого используется модуль «Частота».

Запустив исследование, закрепим конструкцию в узловых точках опорного кольца и запустим расчет. Результат расчета – это множество собственных форм колебаний, но если определить массовое участие при каждой собственной частоте, необходимо увеличивать количество вариантов частот, пока массовое участие не будет больше 0,8 % – это будет окончанием исследования. По каждому направлению X, Y, Z определена собственная частота и график отклика представлен на рисунке 5, одна из возможных форм колебаний представлена на рисунке 6.

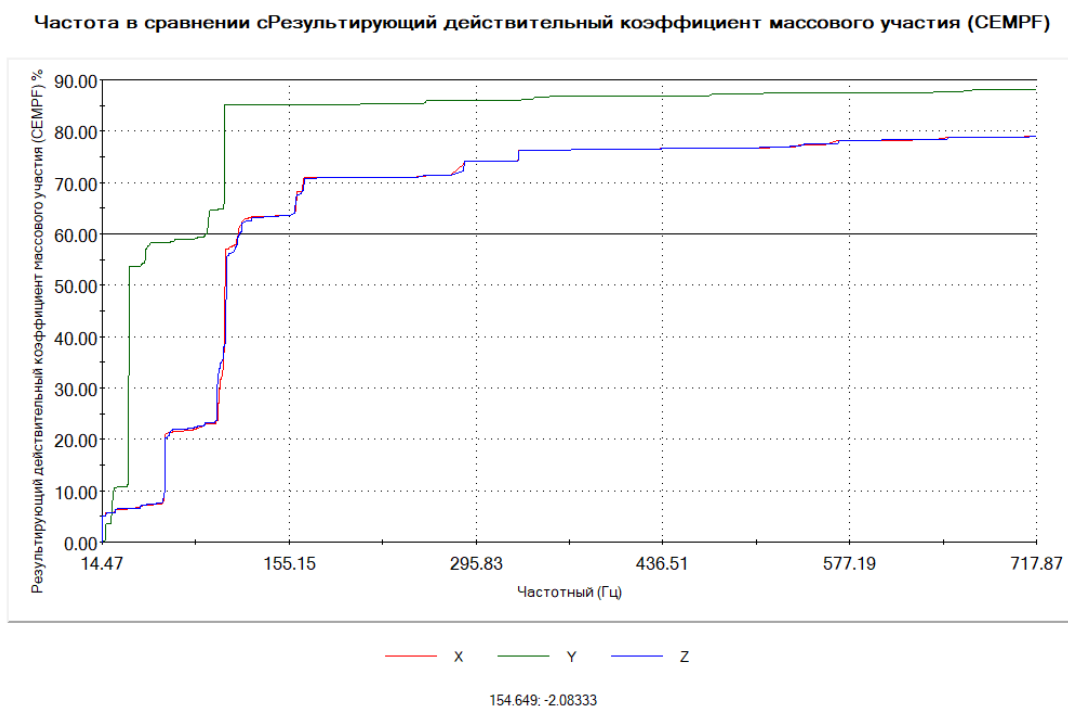


Рисунок 5 – Результирующий действительный коэффициент массового участия

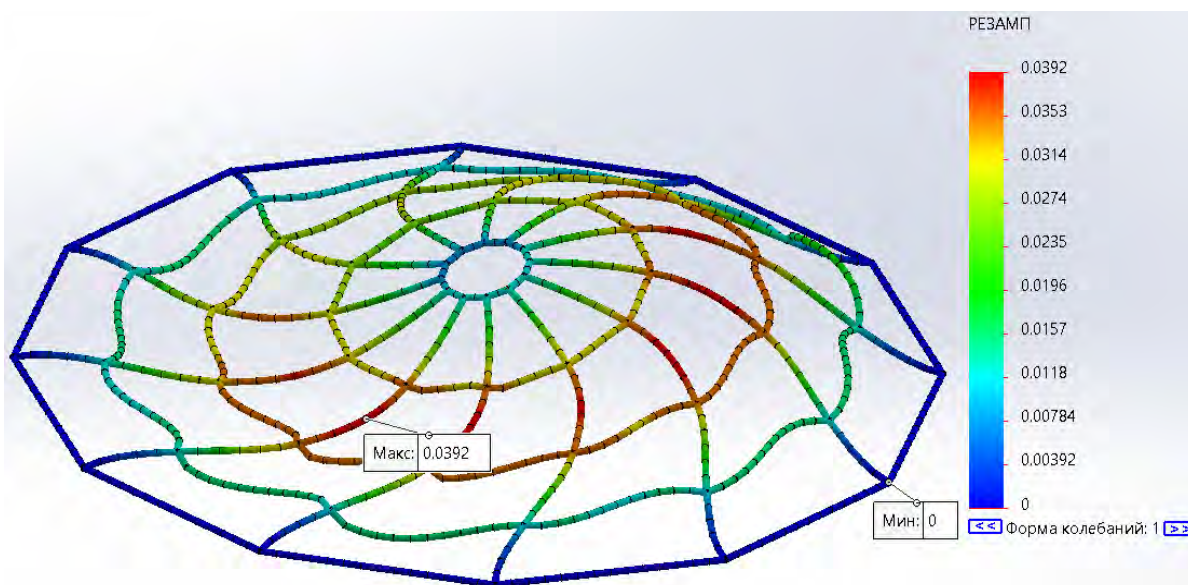


Рисунок 6 – Результаты расчета модуля «Частота»

Выводы

В ходе проведения данной исследовательской работы выполнена оценка несущей способности пространственной стержневой системы из простой углеродистой стали, выполнен статический расчет в программе SolidWorks Simulation, получена методика проектирования в модулях Simulation, FlowSimulation, «Частота». Рассчитаны коэффициент запаса прочности, напряжение и перемещение. Определены давление на лист от воздушного потока, собственные частоты и формы колебаний конструкции. Используя стандартные инструменты, можно в автоматическом режиме получить проектную документацию: основные чертежи и спецификацию, а также сформировать отчет.

Список цитированных источников:

1. Алямовский, А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – Москва : ДМК Пресс, 2019. – 463 с.
2. Воздействие на конструкции. Ч. 1–3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки: ТКП EN 1991-1-3 – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 52 с.
3. Воздействие на конструкции. Общие воздействия. Ч. 1–4. Ветровые воздействия: ТКП EN 1991-1-4 – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 120 с.
4. Дударева, Н. Ю. SolidWorks 2009 для начинающих / Н. Ю. Дударева, С. А. Загайко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2009. – 440 с.
5. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций: ТКП EN 11990-2011. – М. : МАиС, 2012.
6. Лукинских, С. В. Компьютерное моделирование и инженерный анализ в конструкторско-технологической подготовке производства : учебное пособие / С. В. Лукинских ; М-во науки и высш. обр. РФ. — Екатеринбург : Изд-во Урал.ун-та, 2020. — 168 с.

УДК 691.51

Тричик В. В.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Тур Э. А.

КОМПЛЕКСНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЯ ТЮРЬМЫ № 1 В Г. ГРОДНО КАК ОБЪЕКТА ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ РЕСПУБЛИКИ

Историко-культурное наследие представляет собой важнейший источник творческих сил народа, выступает эффективным средством национального развития, создания полноценных условий совершенствования личности. Сохранение историко-культурного наследия имеет и огромное практическое значение для современников. Историко-культурной ценностью признаются объекты, обладающие совокупностью двух признаков: культурной значимостью и юридическим признанием в таком качестве посредством включения в охранный реестр – Государственный список историко-культурных ценностей Республики Беларусь [1]. 3 февраля 2017 года вступил в силу Кодекс Республики Беларусь о культуре, которым регулируются вопросы охраны историко-культурного и археологического наследия Республики Беларусь (Кодекс Республики Беларусь о культуре от 20 июля 2016 года № 413-З, принят Палатой представителей 240

24 июня 2016 года, одобрен Советом Республики 30 июня 2016 года). Кодексом установлена процедура, после выполнения которой разрешается производить работы на историко-культурной ценности [2]. Важнейшей частью проекта по реконструкции и реставрации объектов, включенных в Перечень недвижимых объектов историко-культурного наследия Республики Беларусь, является раздел «Комплексные научные изыскания» (КНИ). Он включает в себя архивную справку об объекте, а также их фотофиксацию, обмеры, археологические и химико-физические исследования. Обязательное проведение химико-физических исследований помогает принять правильные проектные решения по применению отделочных материалов на историко-культурных ценностях и, соответственно, большей долговечности проведенных работ. Так как зачастую ни заказчики работ, ни подрядчики не знают о последствиях применения современных отделочных материалов на зданиях, при строительстве которых использованы известковые растворы. При проведении исследований очень часто выясняется, что кроме реставрации самого фасада здания, необходимо выполнить комплекс работ по усилению фундамента и устройству гидроизоляции в подвальных помещениях, по устранению причин капиллярного подсоса влаги в ограждающие конструкции здания или сооружения [3, 4].

Одним из знаковых объектов исследования являлось здание Тюрем № 1 в г. Гродно (рисунок 1). Данное здание является памятником архитектуры, включённым в Государственный список историко-культурных ценностей Республики Беларусь [1].



Рисунок 1 – Общий вид фасада по ул. Кирова

История здания Тюрем № 1 в г. Гродно как исторического объекта насчитывает более 200 лет.

В разделе КНИ были проведены физико-химические исследования строительных растворов и окрасочных составов фасадов здания Тюрем № 1 в г. Гродно. Общий вид фасада по ул. Кирова представлен на рисунке 1. Общий вид фасада по ул. Городничанской представлен на рисунке 2. При отборе образцов для проведения исследований производилась фотофиксация мест отбора на фасадах здания.



Рисунок 2 – Общий фасада по ул. Городничанской

Места отбора образцов штукатурных слоев с окрасочными составами приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Места отбора образцов штукатурных слоев с окрасочными составами

№ образца	Наименование места отбора
1	Основная плоскость стены 1-го этажа главного фасада в осях 3–1 (справа от входа) по ул. Кирова
2	Основная плоскость стены 2-го этажа главного фасада в осях 3–1 (справа от входа) по ул. Кирова
3	Основная плоскость стены бокового фасада в осях Д – В
4	Основная плоскость стены дворового фасада в осях 2–3 (ул. Кирова)
5	Основная плоскость стены дворового фасада в осях Г – Б (ул. Городничанская)
6	Основная плоскость стены дворового фасада в осях Б – А (ул. Городничанская)
7	Основная плоскость стены бокового фасада в осях Г – Д (ул. Городничанская)
8	Основная плоскость стены бокового фасада в осях А – Б (ул. Городничанская)

Были проведены физико-химические исследования строительных растворов и окрасочных составов. Цель исследования – изучение физико-химических и технологических особенностей исходных штукатурных растворов, определение первоначальных окрасочных составов и разработка методических рекомендаций по проведению реставрационных работ на фасадах здания в рамках комплексных научных исследований.

Для анализа представленных образцов применяли микрохимический, гранулометрический и петрографический методы исследований [1, 2, 3, 5, 6]. Гранулометрический состав заполнителей определялся путем просеивания через сито с размером ячеек 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,063 мм согласно рекомендациям ОАО «Белреставрация» Министерства культуры Республики Беларусь (для создания аутентичных строительных растворов недвижимых объектов историко-культурного наследия 1 и 2 категории). Цвета лакокрасочных покрытий и отделочных составов указаны по каталогу «3D plus» компании CAPAROL. Цвет

покрытия определялся путём визуального сравнения образца с эталонной типографской выкраской. Для устранения метамерии определение цвета проводилось при рассеянном естественном освещении [3].

Исследованные известково-песчаные штукатурные растворы раннего и более позднего исторических периодов значительно отличались друг от друга как по соотношению компонентов, так и по гранулометрическому составу заполнителя. Более ранние аутентичные растворы (фасад здания по ул. Кирова, возведенного примерно в 1795 г.) имели количественное соотношение компонентов известь:заполнитель = 1:1,5 – 1:1,6. В качестве заполнителя использовался разнотернистый песок преимущественно средней (размер зерна 0,5–0,25 мм) и мелкой (0,25–0,125 мм) фракций. Содержание фракции с размером зерна 0,5–0,25 мм составило около 46,0 % от массы заполнителя, фракции с размером зерна 0,25–0,125 мм – около 45,0 %, фракции с размером зерна 1,0–0,5 мм – около 8,5 %, фракции с размером частиц более 1 мм составило 0,5 %. Отмечены многочисленные включения извести размером от 1–2 мм до 2–3 мм. Вероятно, раствор был плохо вымешан при изготовлении. Включения извести присутствуют у всех ранних аутентичных штукатурных растворов.

Более поздние аутентичные растворы (фасад здания по ул. Городничанской, возведенного примерно в 1817 г.) имели количественное соотношение компонентов известь:заполнитель = 1:4. В качестве заполнителя использовался разнотернистый песок преимущественно средней (размер зерна 0,5–0,25 мм) и мелкой (размер зерна 0,25–0,125 мм) фракций. Содержание фракции с размером зерна 0,5–0,25 мм составило около 40,0 % от массы заполнителя, фракции с размером зерна 0,25–0,125 мм – около 37 %, фракции с размером зерна 1,0–0,5 мм – около 20 %, фракции с размером зерна 1,0–2,0 мм – около 2 %, фракции с размером частиц более 2 мм составило 1 %. Включения извести практически отсутствуют.

Это позволяет предположить, что в различные исторические периоды кварцевый песок для штукатурных работ был привезен из разных карьеров.

Таким образом установлено, что все соответствующие исследованные аутентичные штукатурные известково-песчаные растворы (предположительно одного исторического периода) близки по соотношению компонентов (вяжущее:заполнитель) и гранулометрическому составу заполнителя (кварцевого песка).

Штукатурные растворы более позднего исторического периода значительно отличаются от аутентичных как соотношением компонентов, так и гранулометрическим составом заполнителя (кварцевого песка). Практически все штукатурные и затирочные растворы современного исторического периода по составу являются известково-цементно-песчаными.

Результаты исследования аутентичных окрасочных составов приведены в таблице 2.

Первоначально основная плоскость стены 1-го этажа главного фасада, 2-го этажа главного фасада (справа от входа) по ул. Кирова, бокового фасада были окрашены составом сливочно-белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Off White 20». Не удалось определить первоначальный окрасочный состав основной плоскости стены дворового фасада (ул. Кирова). На данном образце был обнаружен только современный известково-цементно-

песчаный штукатурный, окрашенный составом бежевого цвета на основе полимерного пленкообразующего. Ранние известково-песчаные штукатурные растворы и окрасочные составы были полностью удалены с подложки. Предположительно, поверхность фасада также была окрашена составом сливочно-белого цвета на минеральной основе (цвет близок к образцу «Off White 20»). Первоначально основные плоскости стен дворового фасада в осях Г – Б (ул. Городничанская), бокового фасада (ул. Городничанская), бокового фасада (ул. Городничанская) были окрашены составом серовато-белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Umbra-Weib». Не удалось определить первоначальный окрасочный состав основной плоскости стены дворового фасада (ул. Городничанская). На данном образце был обнаружен только современный известково-цементно-песчаный штукатурный, окрашенный составом светло-бежевого цвета на основе полимерного пленкообразующего. Ранние известково-песчаные штукатурные растворы и окрасочные составы были полностью удалены с подложки. Предположительно, поверхность фасада также была окрашена составом серовато-белого цвета на минеральной основе (цвет близок к образцу «Umbra-Weib»). Первоначально цоколь из натурального (природного) камня (гранита) не был окрашен. Следует обязательно удалить все составы с натурального камня.

Таблица 2 – Результаты исследования аутентичных окрасочных составов

№ образца	Описание аутентичного окрасочного состава (цветовое решение по каталогу «3D plus System» компании CAPAROL)
1	Окрасочный состав сливочно-белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Off White 20»
2	Окрасочный состав сливочно-белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Off White 20»
3	Окрасочный состав сливочно-белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Off White 20»
4	Лицевая поверхность образца окрашена составом бежевого цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет близок к образцу «Palazzo 180» (современный). Аутентичный не сохранился
5	Окрасочный состав серовато-белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Umbra-Weib»
6	Лицевая поверхность образца окрашена составом светло-бежевого цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет близок к образцу «Curgy 55» (современный). Аутентичный не сохранился
7	Окрасочный состав серовато-белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Umbra-Weib»
8	Окрасочный состав серовато-белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Umbra-Weib»

Определено, что здание многократно перекрашивалось составами на минеральной основе, но самые последние ремонты были выполнены окрасочными составами на основе полимерного пленкообразующего. Первоначальные штукатурные работы производились известково-песчаными составами (без цемента). Следует отметить, что нижележащие окрасочные слои не удалялись должным образом, поэтому образцы с плоскости стены главного, боковых и дворового фасадов напоминают «слоёный пирог». Первоначально здание было оштукатурено известково-песчаными растворами и окрашено минеральными составами.

До проведения основных ремонтно-реставрационных работ следует уделить внимание ремонту кровли, водосточных систем, а также работам по гидроизоляции здания. Все применяемые материалы для ремонта фасада должны быть совместимы с сохраняемыми материалами по своим физико-механическим характеристикам, работать с ними в единой системе, не провоцируя появления и развития дефектов. Долговечность всех применяемых материалов должна быть подтверждена соответствующими лабораторными испытаниями и практикой применения. Окраску следует проводить либо красками на основе исторического связующего – известковыми, либо на силикатном связующем [5, 6, 7, 8].

При реставрации объектов культурного наследия, в особенности при финишном окрашивании, необходимо учитывать две противоположные тенденции. С одной стороны, памятник культуры нужно рассматривать как исторический документ и наследие прошлых веков, с другой, необходимо обновить и вернуть объект к состоянию, которое он имел в исторический момент, создать иллюзию так называемого «эффекта присутствия», не переходя за грань фальсификации [9, 10, 11].

Сохранение историко-культурного наследия нашей страны является обязательной функцией современного государства и составляет одно из направлений его политики в сфере культуры. Для решения проблем сохранения историко-культурного наследия необходимо более широко использовать общественные инициативы, осуществлять просветительскую деятельность, популяризацию национального исторического и культурного наследия Республики Беларусь.

Список цитированных источников

1. Дзяржаўны спіс гісторыка-культурных каштоўнасцей Рэспублікі Беларусь / склад. В. Я. Абламскі, І. М. Чарняўскі, Ю. А. Барысюк. – Мінск : БЕЛТА, 2009. – 684 с.
2. Кодэкс Рэспублікі Беларусь аб культуры. – Мінск : Нац. цэнтр прававой інфарм. Рэсп. Беларусь, 2016. – 272 с.
3. Ивлиев, А. А. Реставрационные строительные работы / А. А. Ивлиев, А. А. Калыгин. – М. : ПрофОбрИздат, 2001. – 272 с.
4. Фрессель, Ф. Ремонт влажных и повреждённых солями строительных сооружений / Ф. Фрессель. – М. : ООО «Пэйнт-медиа», 2006. – 320 с.
5. Брок, Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям: пер. с англ. / Т. Брок, М. Гротеклаус, П. Мишке; под ред. Л.Н. Машляковского. – М. : Пэйнт-Медиа, 2004. – 548 с.
6. Тур, Э. А. Исследование минеральных материалов, использованных при постройке дворцового комплекса Сапегов в Ружанах / Э. А. Тур, С. В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест : БрГТУ, 2014 – № 1: Строительство и архитектура. – С. 88–91.
7. Никитин, Н. К. Химия в реставрации: справ. пособие / М. К. Никитин, Е. П. Мельникова. – Л. : Химия, 1990. – 304 с.
8. Реставрация памятников архитектуры / С. С. Подьяпольский [и др.]. – М. : Стройиздат, 1988. – 267 с.
9. Тур, Э. А. Реставрация Коссовского дворца Пусловских и решение возникших при этом технических проблем / Э. А. Тур, В. Н. Казаков, С. В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2017. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 128–131.
10. Тур, Э. А. К вопросу о сохранении объектов историко-культурного наследия в г. Бресте / Э. А. Тур, С. В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 17–21.
11. Комплексные научные исследования фасадов костела святых Петра и Павла в д. Рожанка Гродненской области / Э. А. Тур // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2020. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 147–152.

К ВОПРОСУ ВИЗУАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ И ЗА РУБЕЖОМ

Целью настоящей работы является изучение требований нормативных документов по оцениванию технического состояния конструкций. В настоящее время в соответствии с действующими нормативными документами обследование технического состояния строительных конструкций, как правило, разделяют на визуальное и детальное обследование [1].

В Республике Беларусь с 1 января 2021 года обследование технического состояния строительных конструкций выполняют по впервые введенным строительным нормам СН 1.04.01 [2]. В соответствии с данным документом обследование состоит из трех основных этапов:

- 1 этап – предварительный осмотр здания;
- 2 этап – общее обследование (по внешним признакам);
- 3 этап – детальное (инструментальное) обследование.

Предварительный осмотр здания производят до составления технического задания на проведение обследования для уточнения цели и задач работы, предварительного определения объемов и сроков производства работ, объема имеющейся проектной, исполнительной и эксплуатационной документации, условий доступа к обследуемым элементам здания.

Общее обследование проводится для общей оценки технического состояния строительных конструкций, определения необходимости, объема и программы детального обследования. Общее обследование включает в себя общую оценку конструктивной схемы и соответствия здания проектной документации в части объемно-планировочного и конструктивного решения, а также по виду и характеру нагрузок, условиям эксплуатации. По внешним признакам дается ориентировочная оценка категории состояния отдельных конструкций с определением необходимости проведения противоаварийных мероприятий.

При общем обследовании проводят визуальный осмотр всех конструкций с применением, в необходимых случаях, инструментов и приборов. При необходимости, выполняют испытания и измерения для получения дополнительных данных о состоянии конструкций и их соответствии проектной документации: ориентировочная оценка прочности бетона и его плотности, измерение ширины раскрытия и глубины наиболее характерных трещин, выборочное измерение наибольших отклонений основных размеров от проектной документации.

В Российской Федерации на сегодняшний день основным нормативным документом в строительной отрасли, в соответствии с которым должно проводиться обследование зданий и сооружений, является ГОСТ 31937 [3]. В соответствии с документом [3] обследование технического состояния зданий (сооружений) должно проводиться в три этапа:

- 1 этап – подготовка к проведению обследования;
- 2 этап – предварительное (визуальное) обследование;
- 3 этап – детальное (инструментальное) обследование.

Подготовительные работы проводят в целях: ознакомления с объектом обследования, его объемно-планировочным и конструктивным решением, материалами инженерно-геологических изысканий; сбора и анализа проектно-технической документации; составления программы работ с учетом согласованного с заказчиком технического задания.

Предварительное (визуальное) обследование проводят в целях предварительной оценки технического состояния строительных конструкций и инженерного оборудования, электрических сетей и средств связи по внешним признакам, определения необходимости в проведении детального (инструментального) обследования и уточнения программы работ.

В руководстве [4] обследование здания/конструкции осуществляется в четыре этапа:

- 1) Предварительное инспектирование.
- 2) Планирование работ.
- 3) Визуальное инспектирование.
- 4) Натурные и лабораторные испытания.

Основная цель предварительного инспектирования – оценка и сбор информации для этапа планирования до проведения самого обследования. Он включает в себя подготовку документов, группировку конструктивных элементов по их конструктивным решениям, значимости, а также диагностику дефектов по признакам или возрастным изменениям конструкций.

В руководстве [5] состояние конструкции оценивается на двух уровнях:

- I. Предварительное (визуальное) обследование.
- II. Детальное обследование.

Если на уровне *предварительного (визуального) обследования* получена достаточно полная информация о состоянии объекта, то переходить к *детальному обследованию* не рекомендуется.

Предварительное (визуальное) обследование состоит из следующих трех этапов:

1) Сбор информации и ее детализация о проектировании здания, строительстве, эксплуатации и техническом обслуживании за последнее время.

2) Визуальное инспектирование технического состояния и фиксация повреждений.

3) Оценка конструкционной безопасности в соответствии с действующими строительными нормами и правилами или по определенным рабочим документам.

Для предварительного (визуального) обследования необходимы комплекты документов по проектированию конструкций и чертежи, включая спецификацию используемых материалов, инженерно-геодезические изыскания, документы по ремонту или модернизации, проведенные после строительства объекта, документы по эксплуатации здания, включая нагрузки. Также на данном этапе могут быть проведены полевые испытания по определению прочности бетона с применением неразрушающих методов контроля. При этом, если приведенная выше документация отсутствует, необходимо провести детальное обследование. Основной целью предварительного (визуального) обследования согласно [5] является обследование и фиксация всех повреждений или конструктивных несоответствий и их расположения, используя эскизы и чертежи.

Таким образом, как видно из представленных этапов обследования строительных конструкций в различных документах, наибольшая степень неопределенностей в оценивании технического состояния содержится на этапе предварительного обследования, хотя данный этап является наиболее важным с точки зрения принятия решений как о дальнейшем проведении детального обследования, так и о планируемых мероприятиях по обеспечению безопасности и эксплуатационной пригодности конструктивной системы.

Список цитированных источников

1. Яловая, Ю. С. Рейтинговые системы оценки дефектов железобетонных конструкций зданий и сооружений по техническим документам стран евразийского пространства / Ю. С. Яловая // Формирование евразийского социально-экономического и информационно-коммуникативного пространства : успехи, проблемы, перспективы : сборник научных статей из материалов Межд. науч.-практ. конф. в рамках Евразийского научного форума «Интеграционные процессы на евразийском пространстве : успехи, проблемы, перспективы». Санкт-Петербург, 28–29 ноября 2013 г. / науч. ред. Ю. М. Ипатов, А. Б. Звездова, М. С. Туровская. – СПб. : МИЭП, 2014. – Часть II. – С. 166–171.
2. Техническое состояние зданий и сооружений = Тэхнічны стан будынкаў і збудаванняў : СН 1.04.01-2020. – Взамен ТКП 45-1.04-305-2016. – Введ. 27.10.20. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 66 с.
3. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния = Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition: ГОСТ 31937–2011. – Введ. 01.01.14. – М. : Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве, 2014. – 74 с.
4. Handbook on repair and rehabilitation of RCC structures / Central Public Works Department (CPWD). – New Delhi, 2002. – 498 p.
5. Condition assessment of buildings for repair and upgrading : Report / National Disaster Management Programme ; prepared by prof. Anand S. Arya. – New Delhi, 2007. – 16 p.

УДК 69+004.9

Мороз М. О.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Акулова О. А.

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Согласно Указу Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021 – 2025 годы» первым приоритетным направлением научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы является «Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на них производства», среди которых отмечаются «цифровые пространственные модели».

В строительной отрасли примером применения информационных технологий, в первую очередь, является информационное моделирование зданий и сооружений (BIM-технологии). Так приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 16 марта 2018 г. № 70 «О внедрении технологии информационного моделирования» утвержден план внедрения техноло-

гий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства, согласно которому к 2022 году должен быть разработан национальный BIM-стандарт в области строительства.

Очевидно, что в настоящее время исследования в области информационного моделирования зданий и сооружений являются актуальными и имеют значительную практическую значимость, в том числе и в сфере высшего образования.

Информационная модель объекта строительства – совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте строительства, формируемых в электронном виде на этапах выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и (или) сноса [1].

Следует особо подчеркнуть, что информационное моделирование – это процесс коллективного создания и использования информации согласно установленным правилам и стандартам, которые еще предстоит выработать научному и профессиональному сообществу строительной отрасли Республики Беларусь на основе накопленного практического опыта применения BIM-технологий.

Применительно к проектированию и возведению железобетонных конструкций (ЖБК) информационное моделирование дает следующие возможности:

- создание концептуальной модели ЖБК;
- расчет ЖБК;
- увязка модели ЖБК с генпланом и геотехническими условиями;
- увязка модели ЖБК с инженерными системами;
- добавление информации о гидроизоляции и утеплителе и других необходимых данных;
- конструирование, размещение арматуры в модели.

Все это в совокупности на этапе строительства позволяет поэтапно осуществлять следующие виды планирования:

- предварительную проверку армирования производителями работ;
- общий контроль соответствия модели ЖБК архитектурному заданию;
- контроль и корректировки модели ЖБК по конструкторской части;
- контроль производства земляных работ и обустройства стройплощадки;
- проверку наличия необходимых материалов на складах и их предзаказ;
- контроль армирования и изготовления требуемых арматурных изделий;
- планирование ресурсов для изготовления и укладки бетонной смеси;
- планирование решений и затрат на изготовление опалубки;
- увязку модели со строительным генпланом, технологией и складированием;
- координацию логистики материалов и ресурсов;
- планирование модели укладки бетонной смеси, разбивка на захватки;
- подготовку сводной производственной модели;
- подготовку модели опалубочных работ;
- актуализацию модели армирования с учетом захваток и арматурных соединений;
- формирование рабочих заданий по армированию;
- уточнение требований к качеству поверхности;

- составление детальных графиков поставок на строительную площадку;
- составление детальных графиков работ с учетом разбивки по захваткам.

Таким образом, создается реальная возможность симуляции процесса строительства и создание более точного, эффективного и экономичного проекта производства работ.

Применение информационного моделирования позволяет достигнуть следующих эффектов (по данным Министерства строительства Российской Федерации [2]):

- на 30 % сокращаются затраты на строительство и эксплуатацию;
- до 40 % снижаются ошибки и погрешности в проектной документации;
- до 50 % сокращаются сроки реализации проекта;
- в 6 раз уменьшается время на верификацию модели;
- в 4 раза снижаются погрешности в планировании бюджета (с 20 % до 5 %);
- до 90 % процентов сокращается время на согласования и координацию;
- на 10 % сокращается время строительства;
- на 20–50 % сокращается время проектирования.

В рамках научно-исследовательской работы мною была создана информационная модель проектируемого здания из монолитного железобетона, учитывающая всю сложность применяемого армирования и производства работ в программном комплексе Autodesk Revit. На рисунке 1 представлен фрагмент полученной информационной модели.

На рисунке 2 представлена схема армирования железобетонных конструкций проектируемого здания.

При этом на любом этапе проектирования можно в автоматическом режиме получить всю необходимую проектную документацию. На рисунке 3 представлен пример чертежа по проекту, включающему схему армирования подполья и узлы армирования лестницы.

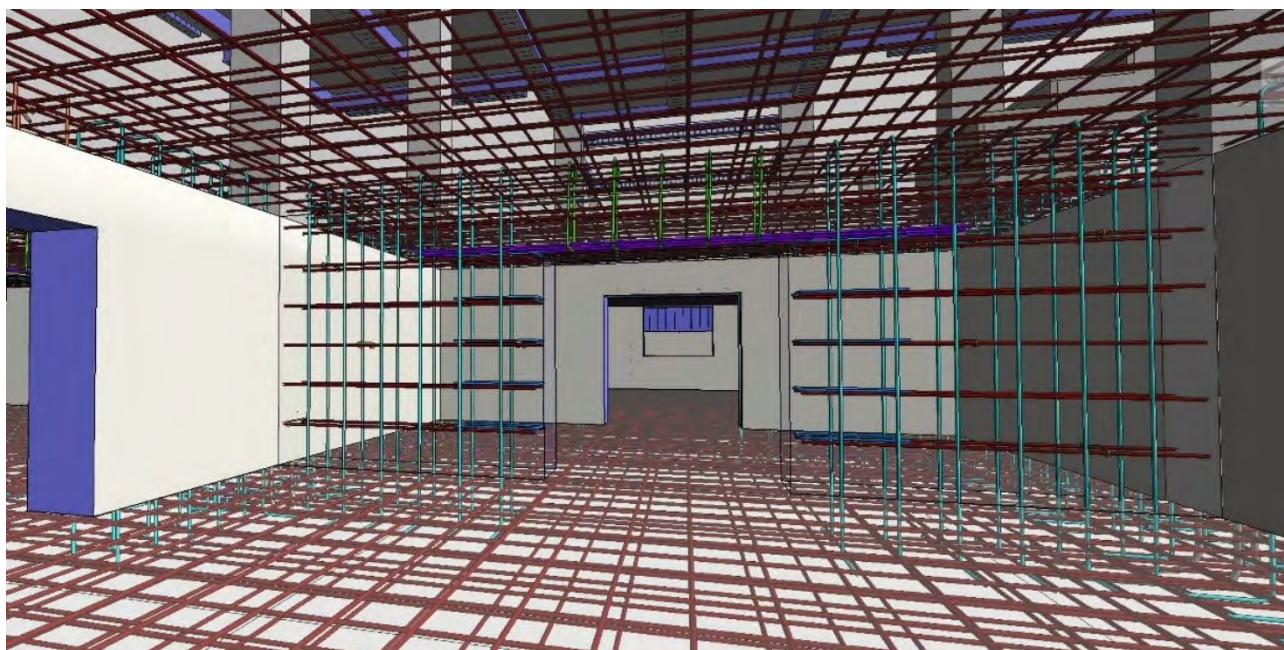


Рисунок 1 – Информационная модель проектируемого здания в Autodesk Revit

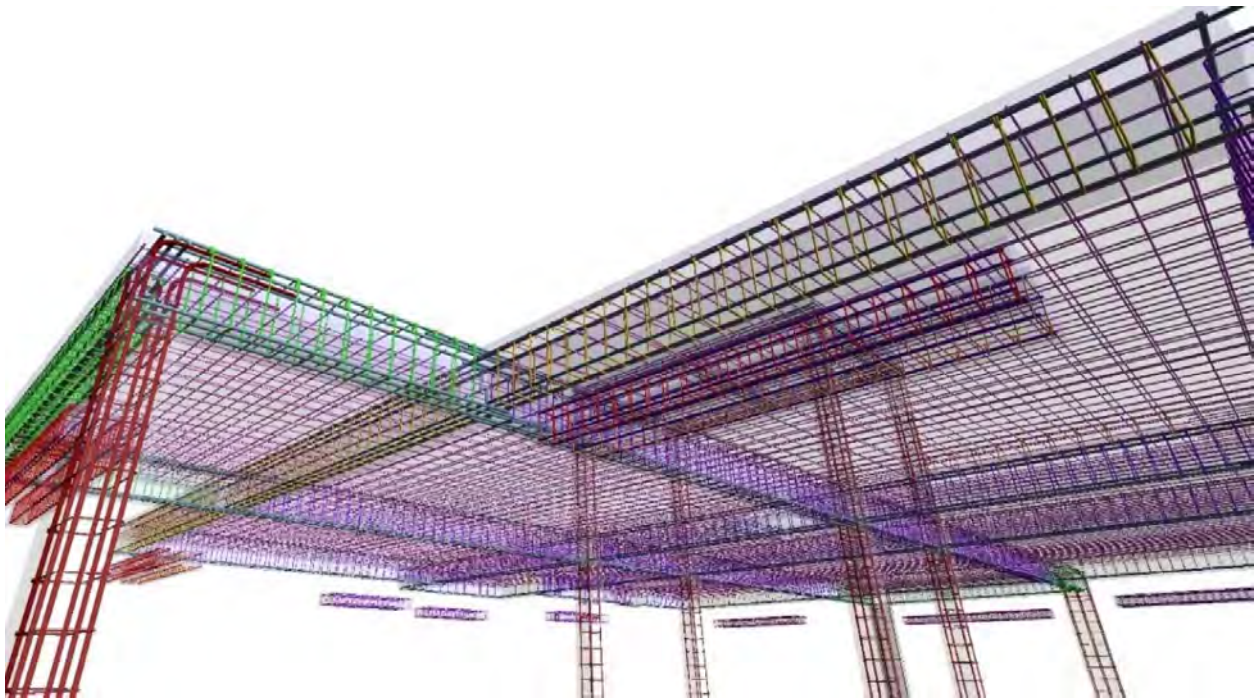


Рисунок 2 – Модель армирования железобетонных конструкций в Autodesk Revit

При внесении изменений в информационную модель автоматически изменяется и вся проектная документация, в том числе ведомости и спецификации.

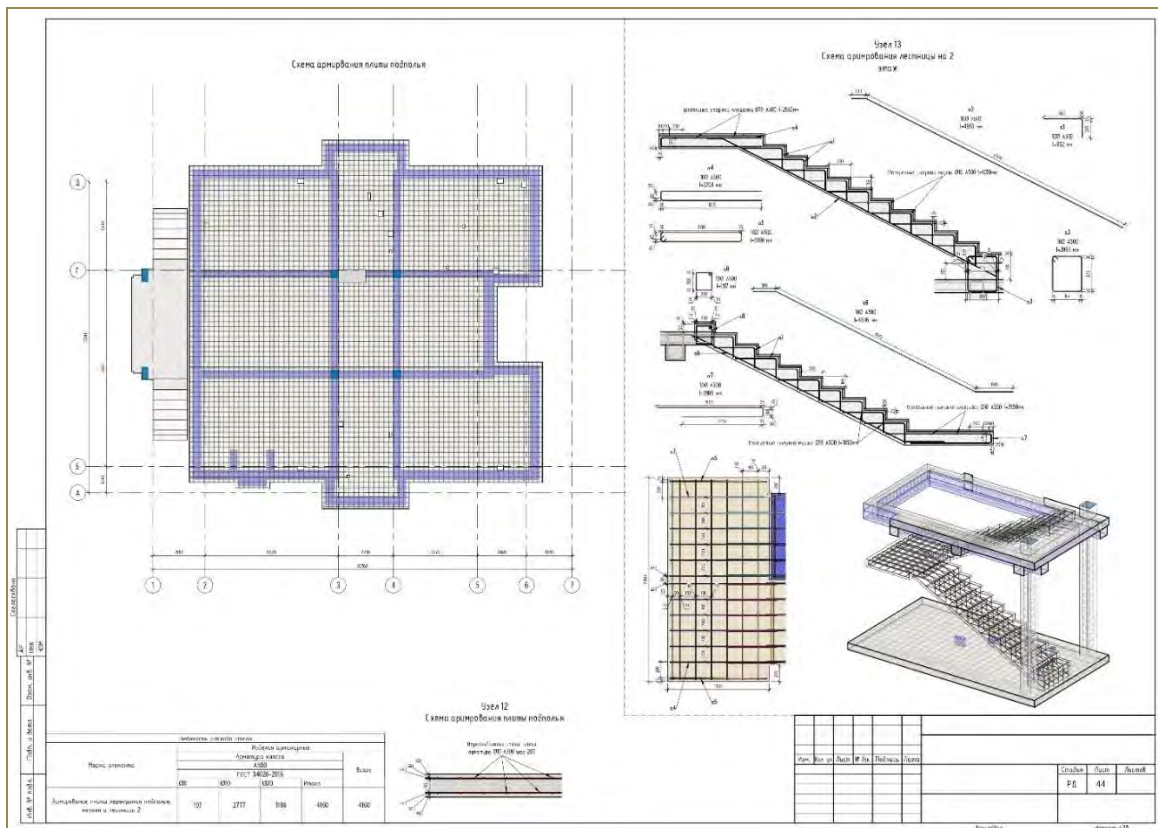


Рисунок 3 – Автоматическое создание проектной документации в Autodesk Revit

Представленный подход к проектированию ЖБК открывает широкие возможности в области управления строительной отраслью и в полной мере отражает современные направления ее развития.

Полученные в работе результаты могут широко использоваться в образовательном процессе при выполнении курсовых и дипломных проектов, создании студенческого профессионального портфолио, а также в проектной деятельности и при обследовании зданий и сооружений.

Список цитированных источников

1. Бачурина, С. С. Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству / С. С. Бачурина. — М. : ДМК Пресс, 2021. – Ч.1: Цифровой проектный менеджмент полного цикла в градостроительстве. Теория. – 106 с.

2. Министерство строительства Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minstroyrf.gov.ru>. – Дата доступа: 24.03.2022.

УДК 69+004.9

Волчок С. А.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Акулова О. А.

УРОВНИ BIM-МОДЕЛЕЙ И МИРОВОЙ ОПЫТ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Внедрение технологий информационного моделирования зданий и сооружений (BIM-технологии) в строительную отрасль является одним из приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности Республики Беларусь на ближайшие годы.

Это новый прогрессивный подход не только к проектированию, но и к управлению «жизненным циклом» здания, включающий строительство, реконструкцию, капитальный ремонт, эксплуатацию и снос [1, 2].

Под информационной моделью часто понимают 3D-модель, визуализирующую внешний вид объекта. В то время как BIM – это совместный процесс для координированного и структурированного управления информацией об объекте в электронном формате.

Проблема неполной, неточной, неоднозначной информации является одной из главных причин дополнительных капитальных вложений и нарушения сроков сдачи объектов в строительной отрасли.

BIM-технологии же предполагают создание с помощью современных цифровых технологий надежной базы данных об объекте в соответствии с установленными правилами и стандартами.

Для того чтобы понять уровень сложности процесса управления информацией для определенной информационной модели, применяют модель зрелости BIM, предложенную Бью-Ричардсом (Bew-Richards).

Модель зрелости включает 4 уровня (0–3) и отражает процесс эволюции строительной отрасли применительно к совместному управлению информацией об объекте (рисунок 1).

На нулевом уровне BIM информацию об объекте получают из разрозненных источников. Используется 2D-моделирование, то есть традиционные САД-чертежи в электронном или бумажном варианте. В настоящее время наиболее характерен для строительной отрасли Республики Беларусь.

BIM 1-го уровня характеризуются, главным образом, созданием общей среды данных с использованием стандартных форматов и структур данных. Однако, сбор и управление данными осуществляется по каждой дисциплине отдельно, то есть не обеспечивается полноценное междисциплинарное взаимодействие. Используется, как правило, концептуальная 3D-модель совместно с проектной документацией в виде 2D-чертежей. Использование такой методики является обязательным в Российской Федерации при реализации государственного заказа с 1 января 2022 года.

BIM 2-го уровня характеризуется тем, что все участники используют свои собственные интегрированные 3D-модели. Обмен информацией осуществляется при помощи форматов данных IFC и COBie, а совместная работа и управление – с помощью среды параллельного проектирования CDE. Использование такой методики является обязательным для реализации государственного заказа в Великобритании с 2016 года.

Общие возможности моделей BIM 2-го уровня включают:

- 2D – плоские чертежи, определяющие геометрию конструкции, а также визуализации;
- 3D – обнаружение коллизий и проблем на стадии проектирования, объемная визуализация проекта, технологии расширенной реальности;
- 4D – к информационной модели добавляется параметр «время», что позволяет осуществлять планирование и управление процессом строительства, а также визуализировать графики производства работ;
- 5D – добавление параметра «стоимость» позволяет оценивать затраты в режиме реального времени и оптимизировать их.

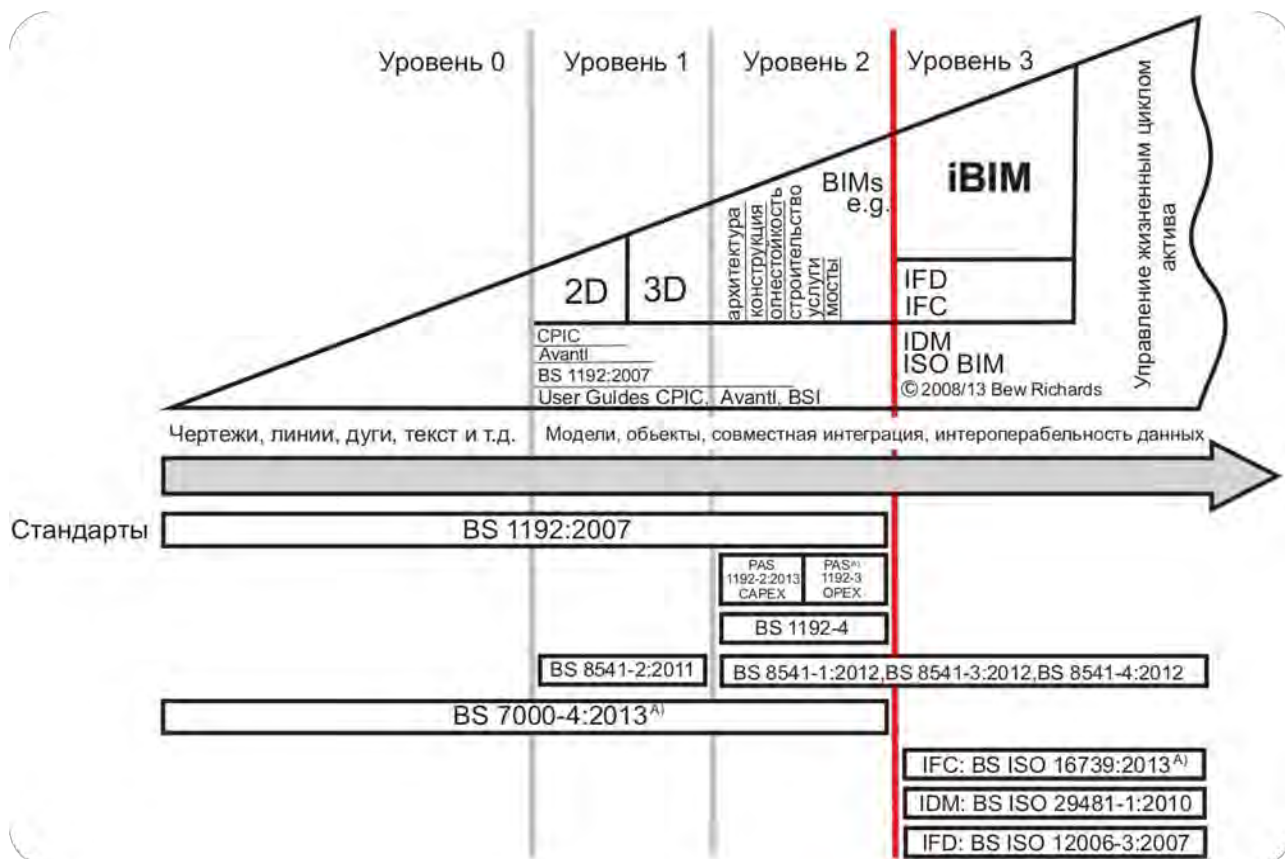


Рисунок 1 – Модель зрелости BIM-моделей, предложенная Бью-Ричардсом [3]

BIM 3-го уровня, так называемый «Open BIM», представляет собой полностью интегрированный метод для взаимодействия всех дисциплин в рамках единого общего централизованного проекта моделирования. Все участники могут получить к нему доступ и работать совместно. При этом единый источник информации (общая модель) предотвращает риск получения противоречивой информации об объекте.

Возможности «Open BIM» дополнительно включают:

- 6D – эксплуатация и управление объектом, включающие информацию о мониторинге состояния, электронном паспорте, ремонте и обслуживании, энергоэффективности, реконструкции;

- 7D – комплексное представление о поведении объекта в реальных условиях, также содержит аспект управления жизненным циклом (пространством, техническим обслуживанием, стоимостью собственности/активами);

- 8D – инструмент моделирования, связанный с анализом факторов риска (анализ факторов риска, связанных со строительством и эксплуатацией объекта, оптимизация процесса проектирования элементов, связанных с безопасностью эксплуатации объекта).

Переход к этому уровню BIM-моделей в отношении объектов государственного заказа планируется в Великобритании до 2025 года.

На сегодняшний день компании архитектурно-строительной отрасли в мире находятся на разных уровнях зрелости и, как правило, используют BIM для решения задач узкого профиля. Должно пройти время, чтобы в отрасли было накоплено достаточно знаний и опыта для постепенного перехода от первого и второго уровней зрелости, на которых большинство из них находятся в данный момент, к третьему уровню – «Open BIM».

На рисунке 2 представлена схема распространения BIM-технологий в мире.

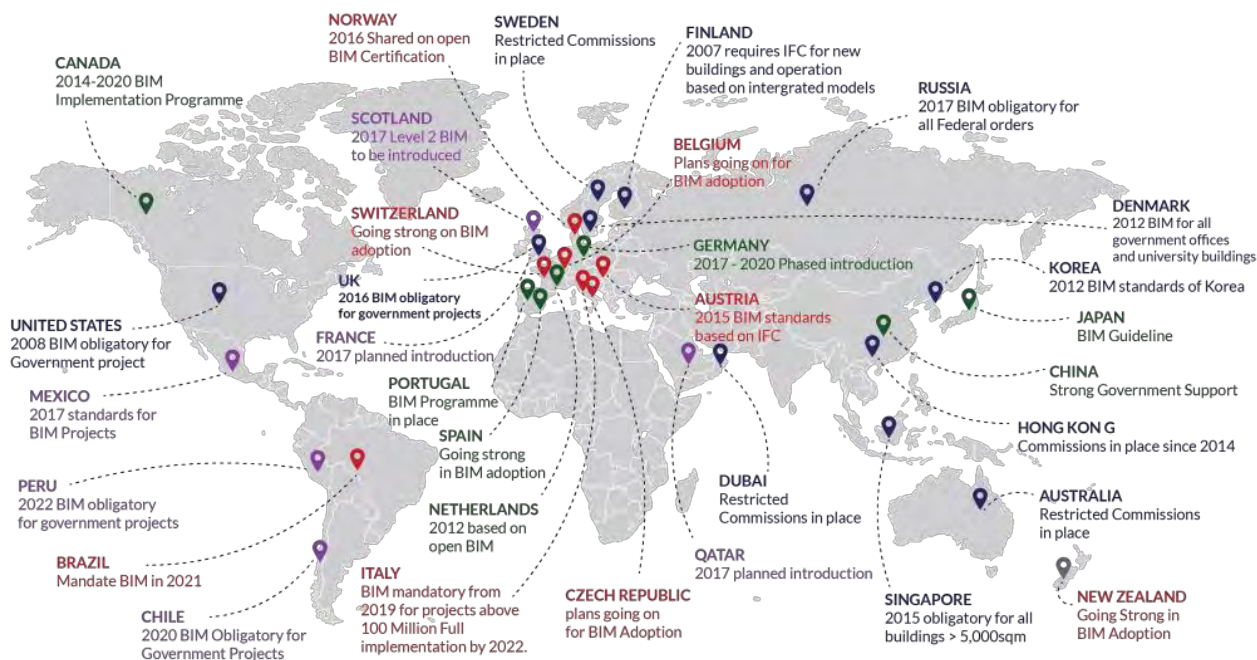


Рисунок 2 – Внедрение BIM-технологии в мире [4]

Информационное моделирование стало неотъемлемой частью строительной отрасли во всем мире. Передовыми странами в этой области являются Велико-

британия, США, Сингапур, Китай, страны Скандинавии и некоторые страны Евросоюза и Азии. Все эти страны имеют богатый опыт внедрения BIM-технологий в строительный комплекс, а также стандартизации и государственного регулирования в этой области.

Изучение такого опыта крайне важно для эффективного внедрения информационного моделирования в строительную отрасль Республики Беларусь.

Список цитированных источников

1. Талапов, В. В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В. В. Талапов. – М. : ДМК Пресс, 2015. – 412 с.

2. Бачурина, С. С. Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. / С. С. Бачурина. – М. : ДМК Пресс, 2021. – Ч.1: Цифровой проектный менеджмент полного цикла в градостроительстве. Теория. – 106 с.

3. Брайан, Пол. BIM для культурного наследия: Разработка информационной модели исторического здания / Пол Брайан, София Антонополу. – [б. м.]: Издательские решения, 2019. – 106 с.

4. Bim Implementation In Malaysia [Elektronic resource]. – Mode of access: <https://breananeva.blogspot.com/2021/05/bim-implementation-in-malaysia-pdf-bim.htm>. – Date of access: 24.03.2022.

УДК 004.8: 693.22

Тыщук С. С.; Саковский Д. С.

Научные руководители: к. т. н., доцент Юськович В. И.;

м. т. н., ст. преподаватель Бондарь А. В.

СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА КАМЕНЩИКОВ

Высокая трудоемкость, низкий уровень механизации процессов и абсолютная зависимость качества кладки от опыта исполнителей обуславливают необходимость поиска технических решений, снижающих трудоемкость работы каменщиков.

Цель исследований – обзор существующих эффективных инструментов и приспособлений для каменной кладки и определение перспективы их совершенствования. В статье рассмотрена возможность применения специальных инструментов и приспособлений, предназначенных для повышения производительности процесса каменной кладки.

Каменная кладка – маломеханизированный и трудоёмкий процесс устройства конструкций из штучных материалов. Повысить результативность выполнения операций по устройству кладки можно путем совершенствования инструментов и приспособлений [1].

Известно значительное количество различных стандартных инструментов и приспособлений, используемых при выполнении отдельных операций (кельма, растворная лопата, молоток-кирочка, киянка, расшивка), а также для контроля качества кладки (отвес, правило, уровень, рулетка, шаблон, шнур-причалка, скобы, порядовки) [1, 2].

Существующие эффективные рабочие и контрольно-измерительные устройства, позволяющие интенсифицировать процесс кладки, несмотря на определённые преимущества, не находят массового применения [3].

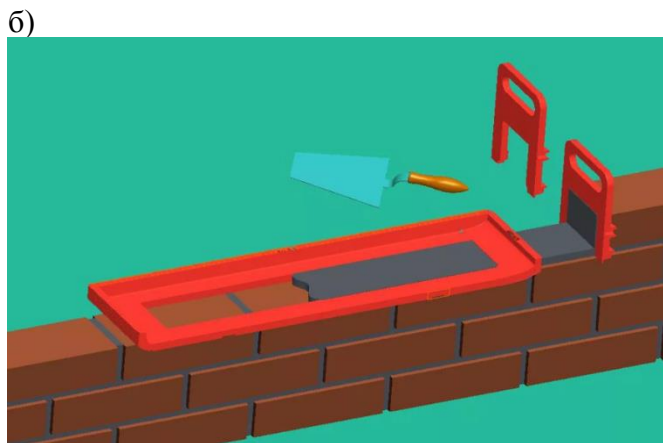
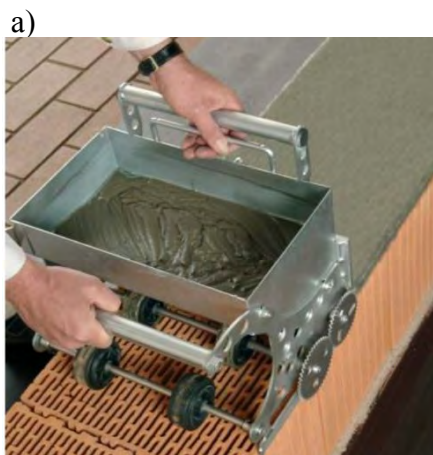
Для определения направлений по совершенствованию процесса каменной кладки за счет использования эффективных инструментов и приспособлений необходимо рассмотреть существующие технические решения и особенности их применения.

Качество и надежность кирпичной кладки напрямую зависят от выбранной и реализованной толщины растворных швов. Эта величина закладывается еще на стадии проекта, контролируется по-рядно и проверяется путем измерения высоты возводимого участка через 5–6 рядов кладки. Отклонение от рекомендуемых значений приводит к перерасходу состава, образованию непрочных связей между кирпичами и быстрому разрушению в дальнейшем [1].

Приспособление «слайдер» (рисунок 1) – помогает уложить слой кладочной смеси одинаковой толщины в кирпичном ряду. С его помощью получаем качественную, аккуратную кладку, экономим раствор, увеличиваем производительность труда каменщика. Слайдер подходит для возведения конструкции в полкирпича и более, кладки кирпичных столбиков и колонн, выполнения лицевой отделки. Используется для работы со стандартными кирпичными элементами, размером 250x120x65 и утолщенными 250x120x88 мм [4].

Каретка для нанесения раствора состоит из направляющей рамки, внутрь которой установлена емкость для растворного или клеевого состава. Каретку устанавливают на ряд кладки так, чтобы направляющие оказались по бокам кладки. Внутрь наливают кладочный раствор. Для нанесения каретку продвигают вдоль ряда, толщина слоя выравнивается с помощью зубчатой или плоской пластинки, установленной в крайней задней точке корпуса (по ходу движения). Некоторые модели оснащаются колесиками, облегчающими продвижение приспособления по ряду кладки [4].

Работа с кареткой проще, чем ручное нанесение, но тоже требует некоторой привычки и понимания принципа действия. Применение каретки полностью решает проблему потеков и значительно ускоряет работу. Каменщик получает возможность полностью сосредоточиться на обеспечении ровного и горизонтального положения рядов, не отвлекаясь на состояние швов и на очистку стены от потеков растворного шва (рисунок 1а).



а – каретка для нанесения раствора; б – слайдер
Рисунок 1 – Устройства для устройства растворных швов

Рубка и теска кирпича с увеличением размеров штучных материалов становится достаточно сложной задачей. Известны способы пиления штучных материалов при помощи дискового бензо- и электроинструмента, но глубина пиления всегда ограничена и, как правило, не достаточна, а также применяемый инструмент является очень тяжелым и травмоопасным.

Сабельная пила – данный инструмент представляет собой устройство, заключенное в корпус из пластика и оснащенное электрическим двигателем. Он приводит в движение пильное полотно с режущей частью, благодаря чему можно обработать практически любой материал: дерево, металл, бетон, пластик. Имеются насадки для работы с заготовками из кирпича, искусственного или натурального камня, а также железобетона (рисунок 2).

Аллигаторная пила – профессиональный строительный инструмент, способный делать пропилы не только в деревянных, но и в кирпичных стенах и стенах из пористого бетона (газобетона, шлакоблоков) толщиной до 80 см (рисунок 2). Используется для пиления штучных материалов в необходимый размер. Также, несмотря на большую мощность и огромную в сравнении с сабельными пилами длину полотен, вибрации в ней практически отсутствуют: двигаясь в противоположном направлении, одно полотно гасит инерцию другого. Плюсы аллигаторных пил те же, что и сабельных: безопасность и удобство в обращении. За счет взаимно скомпенсированных моментов, обращаться с ней намного проще и безопаснее, чем с цепной. К минусам относятся невозможность «врезаться» в стену (мешает неподвижная шина) и высокая цена.

а)



б)



Рисунок 2 – Общий вид сабельной (а) и аллигаторной пилы (б)

Устройство каменных конструкций – это достаточно трудоемкая и монотонная работа. Однако при ее выполнении необходимо тщательно контролировать горизонтальность рядов и вертикальность кладки. Строительные роботы, работающие по соответствующей программе, легко справляются с такой задачей, значительно ускоряя процесс.

Одним из первых аппаратов стал американский робот Construction Robotics SAM [5].

Он способен качественно укладывать более 3000 кирпичей за смену, что в несколько раз превышает возможности человека. На российском рынке можно приобрести модель SAM100, который устанавливается непосредственно на месте возведения стен и обеспечивает нужное качество.

Другой пример – австралийский аппарат Fastbrick Robotics Hadrian X [5]. Работая по программе BIM, он способен действовать по заданной пространственной модели, обеспечивая нужную систему кладки и резку кирпичей в рамках цельной конструкции.

Комплексный подход в автоматизации строительных работ продемонстрировали разработчики роботов Universal Robots. Их можно рассмотреть на примере самого легкого представителя этой серии — модели UR3e. Это компактный коллаборативный робот, подходящий для совместной работы с разнообразным оборудованием. Он имеет манипулятор в форме руки, в котором обеспечивается круговое вращение (360 градусов) во всех сочленениях (суставах) и неограниченное вращение в торцевом соединении. Такая подвижность дает возможность выполнения различных работ с подъемом и перемещением предметов весом до 3 кг [5].

Робот имеет универсальные способности. Его можно использовать для сборки конструкций (в т. ч. для завинчивания и сварки), склеивания, дозировки многокомпонентных смесей и растворов, полировки и зачистки, погрузочно-разгрузочных работ.

In-Situ Fabricator (IF, «Строит здесь и сейчас») создан группой архитекторов и робототехников из Федерального технологического института в Цюрихе (ETH Zurich) [5]. Робот имеет сравнительно небольшую массу, мобилен и, самое главное, обладает «интеллектом». Он оснащен двумя компьютерами, один из которых отвечает за движения механической «руки»-манипулятора, а другой — за ориентирование. Манипулятор оборудован лазерным дальномером. При перемещении манипулятора дальномер сканирует пространство вокруг робота и строит 3-мерную схему окружающего пространства. Также в бортовую систему управления загружена цифровая модель постройки. Благодаря этим данным робот постоянно определяет свое положение в изменяющейся обстановке и ориентируется при выполнении строительных операций, что создает возможности для его автономной работы, которую он выполняет с точностью до миллиметра. Еще одним преимуществом IF является способность самостоятельно перемещаться по строительной площадке без помощи человека. Робот оснащен датчиками и камерами, которые позволяют ему не наткнуться на препятствия и людей во время движения [5].

Компания FANUC Robotics создала ряд роботов, которые эффективно выполняют разнообразные строительные работы. Примером может служить модель FANUC M-10iA/12S с укороченной рукой и полым запястьем [5]. Это высокоскоростной аппарат с великолепной подвижностью суставов. Способен манипулировать предметами массой до 12 кг, справляется с облицовочными материалами, может укладывать стекловолокно, пенополистирольные и другие плиты. Высокая скорость достигается при ламинировании. Аппарат часто используется при погрузочно-разгрузочных работах, при этом обеспечивается идеальная укладка материалов в штабели.

Использование современных устройств для каменной кладки актуально для современного строительства. Преимущества устройств выражаются в ускорении операций кладки, обеспечивается возможность использования менее квалифицированной рабочей силы без потерь качества готовой конструкции, повышение уровня безопасности. При осуществлении операций в рамках процесса

каменной кладки могут применяться различные инструменты и приспособления, в том числе нестандартные, такие как роботы-каменщики.

В учебно-практической лаборатории БрГТУ нами проводятся исследования по созданию и усовершенствованию мобильного роботизированного комплекса для автоматизации процесса кирпичной кладки.

а)



б)



в)



г)



а) – SAM100; б) – Fastbrick Robotics Hadrian X;
в) – In Situ Fabricator1; г) – FANUC M-10iA/12S
Рисунок 3 – Строительные роботы

Список цитированных источников

1. Ищенко, И. И. Каменные работы / И. И. Ищенко // Лань. – 2021 г. – С. 151.
2. Пугач, Е. М. Автоматизация процесса выбора системы перевязки швов кирпичной кладки вертикальных конструкций [Электронный ресурс]. / Е. М. Пугач, А. Ю. Юмашева // Строительное производство. – 2020. – № 4. – С. 71. – Дата доступа: <https://build-pro.press/upload/iblock/668/6683f9cb19226c91bc096e470b20582b.pdf>. – Дата обращения 10.04.2021.
3. Медведев, П. М. Вариативность в выборе систем перевязки швов для каменной кладки / П. М. Медведев, Е. М. Пугач // Системные технологии. – 2018. – № 1 (26). – С. 19–20. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35007066_55908791.pdf. – Дата обращения 11.04.2021.
4. Какие бывают приспособления для кладки кирпича [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://m-strana.ru/articles/prisposoblenie-dlya-kladki-kirpicha/?utm_source=copy&utm_medium=direct&utm_campaign=copy_from_site. – Дата доступа: 11. 04. 2022.
5. Роботы-каменщики: автоматизация процесса кирпичной кладки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://os1.ru/event/9411-roboty-kamenshchiki-avtomatizatsiya-protssesa-kirpichnoy-kladki>. – Режим доступа: Дата доступа: 11. 04. 2022.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИНТОВ В СОЕДИНЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

При проектировании деревянных конструкций одной из наиболее сложных задач является решение вопросов, связанных с конструированием и расчетом узловых соединений. Особенно актуальной эта проблема становится при проектировании деревянных ферм, рам, решетчатых арок. Конструктивное решение узловых соединений элементов деревянных конструкций в основном зависит от величины действующих в этих элементах усилий.

В странах СНГ большинство узловых соединений элементов деревянных конструкций выполняется с использованием механических связей в виде нагелей, вклеенных арматурных стержней, гвоздей. Вместе с тем в зарубежной практике при проектировании деревянных конструкций очень широко используются такие механические связи, как винты, которые в узловых соединениях в основном работают на восприятие растягивающих и сжимающих усилий.

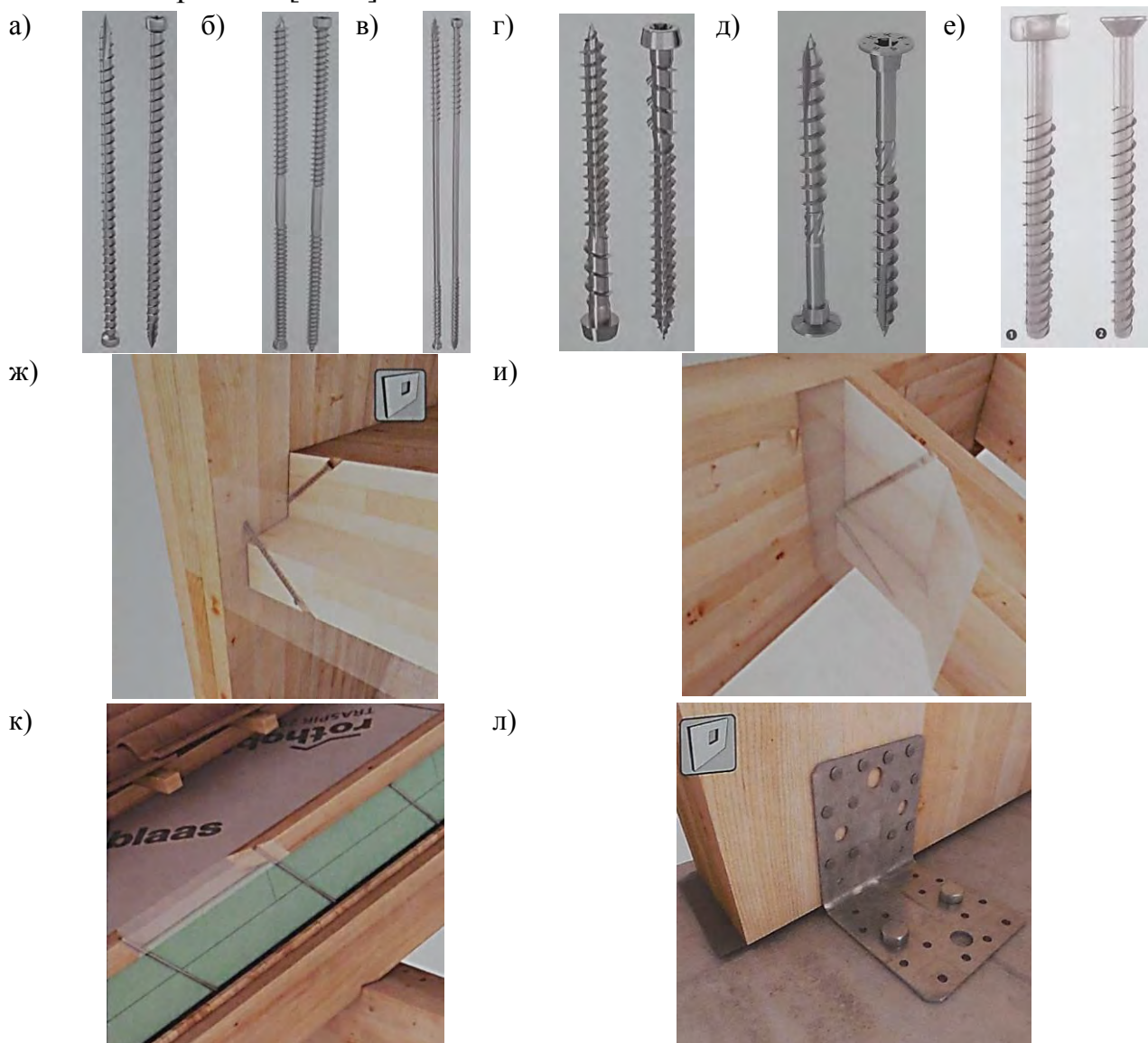
Номенклатура используемых в соединениях деревянных конструкций винтов и области применения приведены на рисунке 1.

Наиболее широкое распространение винты получили в качестве элементов соединения при повышении несущей способности опорных участков деревянных конструкций и усилении элементов в зонах концентрации напряжений (рисунки 2).

Кроме того, современные винты позволяют выполнять соединения элементов как из цельной, так и из клееной древесины. Высокая прочность материала винтов дает возможность соединять элементы, в которых имеет место действие значительных усилий, т. е. конструировать узлы большепролетных конструкций по аналогии с вклеенными стержнями. Как известно, соединения на вклеенных стержнях имеют ряд недостатков: невозможность полного контроля клеевой прослойки между стержнем и поверхностью древесины в отверстии; недостаточную изученность работы при длительной эксплуатации; относительно низкую огнестойкость; сложность при изготовлении конструкций, обусловленную необходимостью длительного времени (до полимеризации клея) сохранять всю конструкцию в одном и том же положении. Поэтому одним из путей повышения надежности такого рода соединений является использование вместо вклеенных стержней винтов.

Следует отметить, что древесина является анизотропным материалом, т. е. ее механические свойства различны в различных направлениях и зависят от угла между направлением действующего усилия и направлением волокон. Как следствие прочностные и жесткостные характеристики, в особенности растяжение перпендикулярно направлению волокон, скалывание вдоль волокон, характеризуются малыми значениями. Именно с целью усиления этих «слабых» направлений предлагают использовать винты как в месте приложения нагрузки, например опорные площадки, так и для повышения прочности и жесткости конструктивных элементов в целом.

Вопросам исследования работы соединений элементов деревянных конструкций, где в качестве механических связей используются стальные винты, посвящены работы [5–11].



а – винт с полной резьбой с цилиндрической головкой; б, в – винт с двухзаходной резьбой; г, д – винт для внешних работ; е – винтовой анкер; ж – скрытое соединение панели перекрытия со стеновой панелью с помощью винтов типа а; и – скрытое соединение несущих конструкций кровли с помощью винтов типа б; к – крепление деревянных реек на скрытую теплоизоляцию на кровле с помощью винтов типа в; л – соединение стеновой панели с монолитной плитой фундамента винтами типа е

Рисунок 1 – Общий вид винтов и примеры узловых соединений с использованием винтов



Рисунок 2 – Применение использования винтов при усилении элементов деревянных конструкций

Следует отметить, что в [9,11–13] несущая способность соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих растягивающее или сжимающее усилия, должна определяться из следующих условий:

1) для винтов, работающих на растяжение:

- выдергиванию ввинченной части винта из массива древесины;
- прочности материала винта при растяжении;
- прочности на местное смятие древесины под головкой винта;

2) для винтов, работающих на сжатие:

- продавливания ввинченной части винта в массиве древесины;
- потери устойчивости винта в массиве древесины от действия сжимающего усилия;

3) для винтов в соединениях стальных пластин с элементами из древесины:

- выдергиванию (вдавливанию) ввинченной части винта из массива (в массив) древесины;
- прочности материала винта при растяжении (сжатии);
- прочности головки винта, которая должна быть больше прочности винта на растяжение;
- прочности массива в области группы винтов на растяжение (сжатие) поперек волокон.

Приведенная в [1, 12] методика определения несущей способности винтовых соединений справедлива, во-первых, при угле наклона оси винта к направлению волокон древесины от 30° до 90° , во-вторых, для винтов с характеристиками, соответствующими [13], т. е. максимальный диаметр винтов не превышает 12 мм. Однако следует отметить, что использование винтов в узловых соединениях элементов деревянных конструкций, где имеет место действия значительных по величине внутренних усилий, не всегда может быть воспринято винтами малых диаметров. Кроме того, существует необходимость замены соединений на клеенных стержнях, которые широко используются в деревянных конструкциях, в частности в странах СНГ, на винты.

Для использования в соединениях элементов деревянных конструкций винтов должна быть разработана методика, учитывающая особенности их работы. Как было отмечено, контакт осуществляется лишь по поверхностям резьбы винта и древесины, следовательно, древесина находится в условиях сложного напряженного состояния. Кроме того, при достижении некоторого уровня нагрузки происходит нелинейное деформирование древесины, находящейся между витками резьбы винта, что также необходимо учитывать при расчете деревянных конструкций с учетом податливости соединений.

Для разработки методики расчета соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов необходимо провести комплекс экспериментально-теоретических исследований по определению их несущей способности и деформативности. Разработка такой методики расчета позволит отказаться от использования клеенных стержней, снизить время и затраты при изготовлении и монтаже деревянных конструкций, повысить их надежность и долговечность.

Список цитированных источников

1. Деревянные конструкции. Строительные правила: СП 5.05.01-2021. – Введ. 01.06.2021. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2021. – 115 с.
2. СП 64.13330.2011 Свод правил. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция. СНиП II-25-80
3. Шурупы с полукруглой головкой. Конструкция и размеры: ГОСТ 1144-80; Взамен ГОСТ 1144-70. – Введ. 30.06.80 № 3274 – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 9 с.
4. Шурупы с полупотайной головкой. Конструкция и размеры: ГОСТ 1146-80; Взамен ГОСТ 1146-70. – Введ. 30.06.80 № 3274 – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1998. – 11 с.
5. Найчук, А. Я. К вопросу оценки несущей способности стальных винтовых стержней, завинченных под углом к волокнам древесины / А. Я. Найчук, М. В. Бабаев // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 1. – С. 21–23.
6. Найчук, А. Я. Численное исследование напряженного состояния древесины в зоне винтов, работающих на выдергивание поперек волокон / А. Я. Найчук, Е. В. Лещук // Строительная наука – 2014: теория, образование, практика, инновации: сб. трудов / Под ред. Б. В. Лабудина – Архангельск, 2014. – С. 276–282.
7. Найчук, А. Я. К вопросу методики определения расчетного сопротивления выдергиванию винта под углом 90° к направлению волокон древесины / А. Я. Найчук, Е. В. Лещук // Современные строительные конструкции из металла и древесины: сб. научн. трудов / Под ред. В. В. Стоянова – Одесса, 2014. – С. 122–130.
8. Self-tapping screws as reinforcement for timber structures / M. Trautz, Christoph KOJ.
9. Bejtka, I. Self-tapping screws as reinforcement in beam supports / I. Bejtka, H.J. Blass // CIB-W18 Conference Proceedings: Paper 39-7-2, Florence, Italy – 2006.
10. Pirnbacher, G. Base Parameters of self-tapping Screws / G. Pirnbacher, R. Brandner, G. Schickhofer // CIB-W18: Paper 42-7-1, Dübendorf, Schweiz.
11. Formolo, S. Compression perpendicular to the grain and reinforcement of a pre-stressed timber deck / S. Formolo, R. Granström // Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering Steel and Timber Structures, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY – Göteborg, Sweden 2007.
12. CEN. Eurocode 5 – Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. Brussels: CEN; 2004.

УДК 666.94:691.3

Ковальчук М. С., Онищук В. А.

Научный руководитель: м. т. н., ассистент Беломесова К. Ю.

ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЫ ГИДРАТИРУЮЩИХ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ НА СТОЙКОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ФИБРЫ

Введение

Традиционное армирование цементных композитов производится с использованием каркасов и сеток, выполненных из арматурной стали, имеющих линейную структуру. Именно они при совместной работе с бетоном в железобетонных конструкциях и изделиях воспринимают растягивающие напряжения. Однако для эффективной борьбы с микротрещинообразованием, являющимся следствием развития усадочных деформаций, предложено использовать дисперсное армирование цементных систем различного рода волокнами [1]. В отличие от традиционной арматуры, дисперсные волокна (фибра) распределяясь в

бетоне равномерно по всему объему, при условии высокой степени адгезии в системе «волокну-матрица», создают жесткий пространственный каркас, позволяющий фиксировать трещины на ранних этапах их образования.

При этом эффективность использования волокон определяется как свойствами: прочностью на растяжение, размерами волокна, стойкостью к щелочам, коррозионной стойкостью и плотностью, так и содержанием в композите [2]. Наиболее распространенными и получившими практическое применение в строительной отрасли являются стальные, полипропиленовые и базальтовые волокна. Однако существует ряд факторов, ограничивающих использование этих армирующих компонентов в массовом строительстве, в числе которых невысокая адгезия к цементному камню, коррозионная стойкость, стойкость в щелочной среде гидратирующего цемента, стоимость, отсутствие нормативной базы и др.

Базальтовое волокно по ряду причин может быть выделено как наиболее эффективный вид волокна, применяемый для модифицирования цементных композитов [2]. Связано это в большей степени с его природными свойствами, высокими прочностными показателями, а также высокой адгезией к цементному камню. При этом, вопрос стойкости и в целом влияния на базальтовое волокно агрессивных сред, а именно щелочной среды гидратирующего цемента, до сих пор не имеет однозначного ответа, чем и вызывает ряд сомнений и, как следствие, отказ от применения данного волокна в качестве армирующего компонента цементных систем.

Целью настоящего исследования является определение степени влияния щелочной среды гидратирующего цемента на стойкость некоторых видов дисперсных волокон.

Исходные материалы и применяемое оборудование

В качестве исследуемых видов дисперсных волокон выступили: полипропиленовое (крупное, волокнистое (ВСМ)) и базальтовое волокно.

Выбор именно этих видов волокон главным образом основан на ограниченном использовании последних в цементных системах как раз по причине невысокой стойкости, по мнению авторов [2], к воздействию щелочной среды твердеющего цемента.

Для определения стойкости данных видов волокон использовали методику, предложенную А. А. Пашенко [3]. Степень влияния щелочной среды на стойкость базальтовых и полипропиленовых волокон оценивалась двумя способами: визуально (посредством микрофотографий волокна до и после испытаний) и по потере массы волокна (взвешивание волокон до и после испытаний).

Экспериментальные исследования

В соответствии с используемой методикой [3] исследуемые волокна выдерживаются (при $t = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$) в течение четырех часов в насыщенном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($\text{pH} = 12,58$), что соответствует 10 годам нахождения армирующего волокна цементном композите.

Определение значений концентрации ионов водорода (pH) насыщенного раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ проводили на стационарном pH -метре « pH-211 » производства HANNA Instruments.

На начальном этапе исследований были сделаны микрофотографии волокон до испытаний при помощи цифрового комплекса «Альтами МЕТ 3С».

Следующим этапом стало выдерживание исследуемых волокон в насыщенном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в течении четырех часов. После окончания выдерживания волокна извлекали из раствора и высушивали.

Заключительным этапом исследований стало определение потерь массы волокон (путем взвешивания до и после испытаний), а также сравнение микрофотографий волокон до и после проведенных исследований.

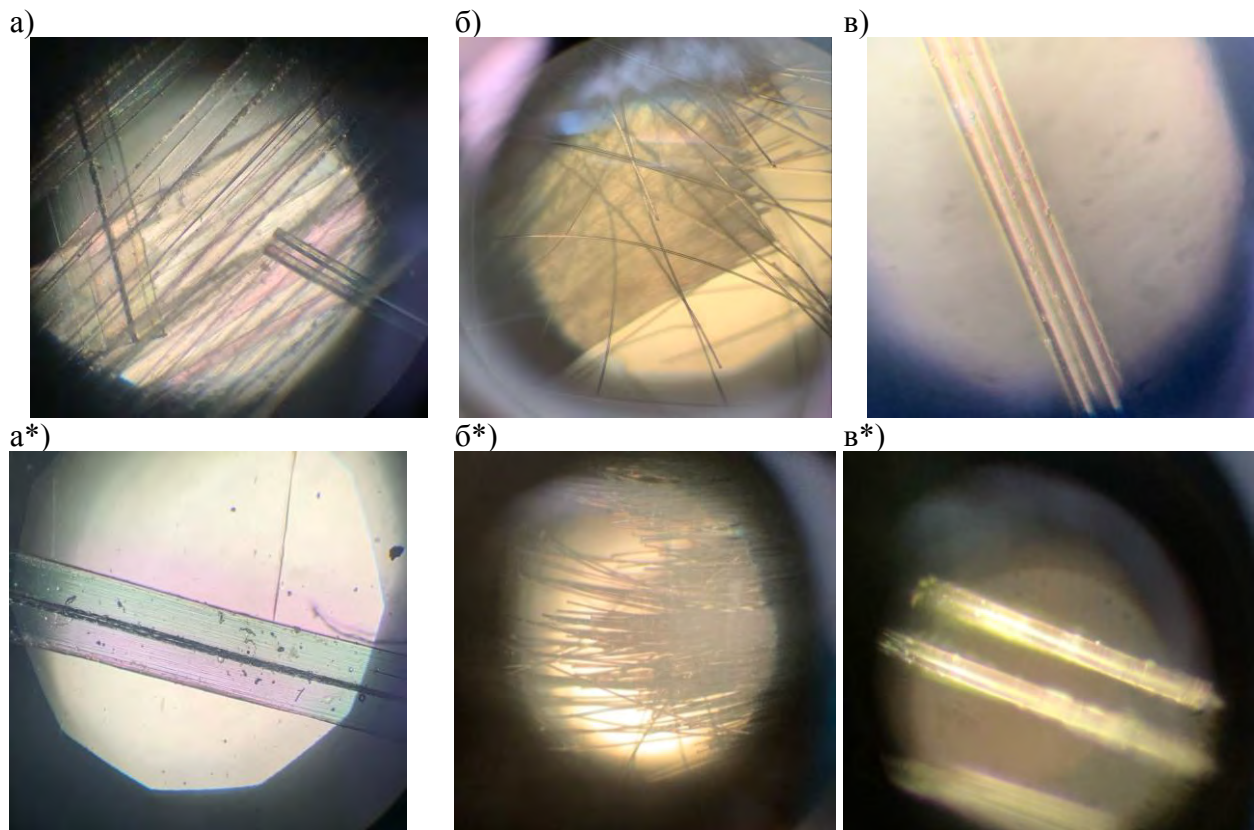
Результаты потери массы волокон представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения массы волокон до и после испытаний

	Вид волокна	Масса волокна до испытаний, г	Масса волокна после испытаний, г	Δ , %
а)	Полипропиленовое (крупное)	2,00	1,96	2,00
б)	Полипропиленовое (ВСМ)	2,03	1,99	1,97
в)	Базальтовое	2,10	1,96	6,66

Так, исходная масса полипропиленового волокна (крупного и ВСМ) изменилась незначительно, а в случае базальтового волокна составила около 7 %.

Что касается визуального контроля (микрофотографии волокон до и после испытаний), то поверхность как полипропиленовых волокон, так и базальтовых волокон не изменилась (см. рисунок 1). Такие дефекты, как раковины, трещины, сколы, наличие которых могло свидетельствовать о негативном влиянии щелочной среды на данные виды волокон, отсутствуют.



а, б, в – до испытаний; а, б*, в* – после испытаний
Рисунок 1 – Микрофотографии волокон*

Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Потеря массы после выдерживания в насыщенном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в соответствии с методикой [3] полипропиленового волокна составила 2 %, а базальтового волокна ≈ 7 %.

2. Поверхность исследуемых волокон после проведенных испытаний не изменилась. Отсутствие дефектов на поверхности волокон свидетельствует о высокой степени стойкости данных видов волокон к воздействию щелочных сред.

3. Комплекс проведенных исследований показал высокую степень стойкости полипропиленовых, а также базальтовых волокон в щелочной среде гидратирующего цемента, в следствие чего данные виды волокон могут быть рекомендованы в качестве армирующего компонента цементных систем.

Список цитированных источников

1. Рабинович, Ф. Н. Устойчивость базальтовых волокон в среде гидратирующих цементов / Ф. Н. Рабинович, В. Н. Зуева, Л. В. Макеева // Стекло и керамика. – 2001. – № 12. – С. 29–32.

2. Бабаев, В. Б. К вопросу о щелочестойкости базальтовой фибры в цементной системе / В. Б. Бабаев // Вестник Белгородского госуд. технолог. университета им. В. Г. Шухова. – 2013. – № 2. – С. 63–66.

3. Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами // А. А. Пашенк [и др.]. – М. : Стройиздат. – 1988. – 201с.

УДК 624.046.5

Симоник А. Н.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Молош В. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СОВРЕМЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Введение

Современные архитектурные решения призваны менять облик пространств обитания человека. Начиная с небольших, но достаточно урбанизированных поселений, и завершая современными мегаполисами, все они направлены на создание более комфортной и благополучной среды для жизни.

Для архитектурного конкурса было разработано решение студенческого общежития в стиле архитектурной бионики (рисунок 1а).

В данной работе выполнено исследование и анализ напряжённно-деформированного состояния ограждающих конструкций одного блока студенческого общежития. В проекте жилого блока общежития, имеющего форму додекаэдра, предусмотрены ограждающие конструкции из современных волокнистых композитных материалов. Расчёт напряжённно-деформированного состояния ограждений выполнен в ПК Лира-САПР на действие эксплуатационной нагрузки, нагрузки от собственного веса ограждений, включающей несущие конструкции и утепление, а также нагрузок от снега и ветра.

Численные исследования напряжённно-деформированного состояния ограждающих конструкций общежития

На рисунке 2б приведен послойный состав ограждающей конструкции, представляющей из себя вентфасад с армированием препрегом из ровинга

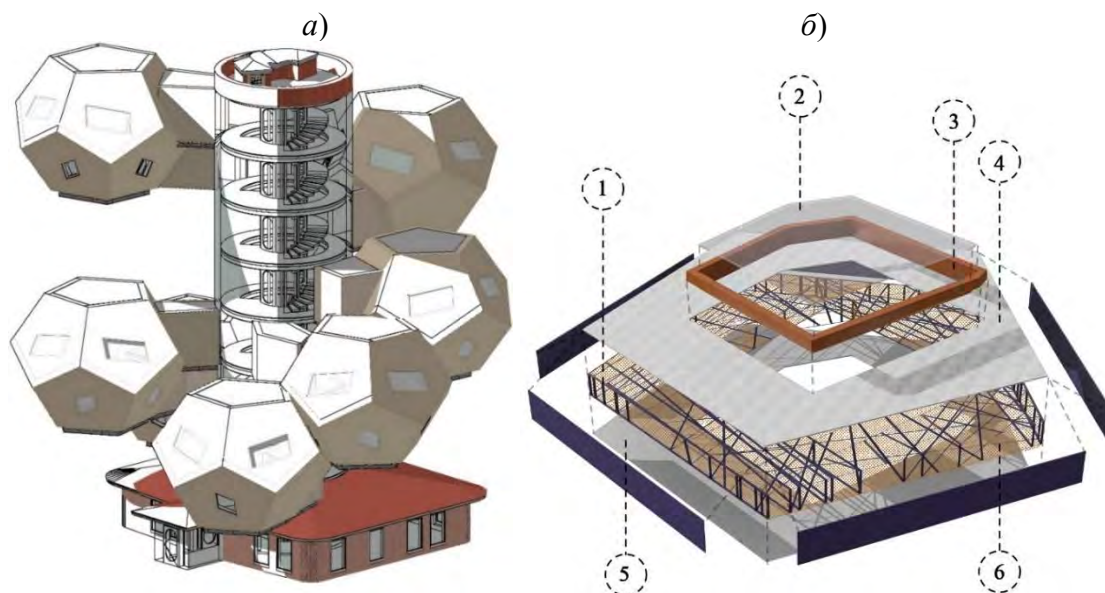
(жгут из стеклонити) и натуральных волокон (лён, джут), с зашивкой утеплителя непосредственно во время производства панели. На рисунке 3 приведены геометрические характеристики ограждений: 5-угольная грань ограждающей панели додекаэдра жилого блока, несущая конструкция условного поперечного сечение ограждающей панели для выделенной полосы шириной 1 м.

Воздействия на ограждающие конструкции определялись в соответствии с требованиями действующих ТНПА.

Виды воздействий сведены в таблицу 1.

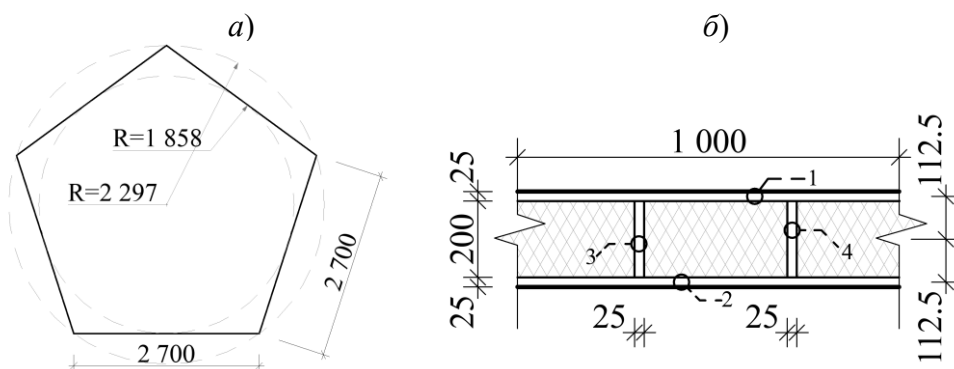
Таблица 1 – Виды постоянных воздействий от конструкции ограждения жилого блока общежития

№ п.п	Вид воздействия	γ , кН/м ³	δ , м
1	Мембрана полимерная	1,5	0,001
2	Ровинг	17,3	0,01-0,025
3	Минеральная вата	0,8	0,2
4	Гипсокартон	10	0,01



1) ровинг; 2) стекло; 3) деревянная рама; 4) тент (мембрана);
5) гипсокартон; 6) минеральная вата

Рисунок 1 – Эскизное решение здания общежития (а) и состав ограждающей конструкции по технологии Fibr [1] (б)



а) 5-угольная грань ограждающей панели додекаэдра жилого блока;
б) конструкция условного поперечное сечение ограждающей панели

Рисунок 2 – Геометрические характеристики ограждающих конструкций

Нормативное значение снеговой нагрузки в соответствии с требованиями [2] было принято

$$s = 1,2 \text{ кПа.} \quad (1)$$

Нормативное значение ветрового воздействия было принято в соответствии с [3] и составило.

$$w_m = 0,264 \text{ кПа.} \quad (2)$$

Расчётные значения воздействий определялись в соответствии с требованиями [4]. В качестве расчётных принимали наиболее неблагоприятное из двух сочетаний воздействий

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ " + " } \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} \text{ " + " } \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ " + " } \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \text{ " + " } \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right. , \quad (3)$$

где «+» «следует сочетать»;

\sum – «общее влияние»;

$\xi = 0,85$ – коэффициент уменьшения для неблагоприятно действующих постоянных воздействий G ;

$G_{k,j}$ – характеристическое значение постоянного воздействия j ;

$Q_{k,1}$ – характеристическое значение доминирующего переменного воздействия 1;

$Q_{k,i}$ – характеристическое значение сопутствующего переменного воздействия i ;

$\gamma_{G,j} = 1,35$ – частный коэффициент для постоянного воздействия j ;

$\gamma_{Q,i} = 1,5$ – частный коэффициент для переменного воздействия i ;

$\psi_0 = 0,7$ – коэффициент, учитывающий комбинационное значение переменного воздействия;

$\psi_1 = 0,5$ – коэффициент, учитывающий частое значение переменного воздействия;

$\psi_2 = 0,3$ – коэффициент, учитывающий практически постоянное значение переменного воздействия.

С целью упрощения расчёта ограждающие конструкции моделировались плитными конечными элементами сплошного сечения, жёсткостные характеристики и плотность вычисляли исходя из принятого конструктивного сечения ограждения (рисунок 2б).

Средний удельный вес конструкции ограждения определяли по формуле

$$\gamma_{cp} = \frac{\sum \gamma_i A_i}{\sum A_i} . \quad (4)$$

Принятые физико-механические хаактеристики ровинга из стекловолокна на полиметном связующем приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики стеклопластика

Материал	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Модуль упругости при растяжении, ГПа	Удельный вес, кН/м ³
Стеклопластик марки ВПС-33	600	450	710	29	17,3

Результаты расчёта приведены в таблице 3. Распределение изгибающих моментов и поперечных сил в ограждении жилого блока общежития приведено на рисунке 4.

Таблица 3 – Результаты расчёта напряжённого состояния блока общежития

Рассчитанные			Предельные		Запас прочности, %		
σ_{max} , МПа	σ_{min} , МПа	σ_{r3} , МПа	σ_p , МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_{max}	σ_{min}	σ_{r3}
1.506	-4.968	250.141	600	-450	99.7	98.9	44.4

Как видно из таблицы 3, величина нормальных напряжений, возникающих в ограждающих конструкциях додекаэдра принятой формы поперечного сечения (рисунок 4б), значительно ниже предельной. Запас прочности для максимальных напряжений σ_{max} составляет 99,7 %, для минимальных напряжений σ_{min} – 98,9 %, для напряжений, полученных по третьей теории прочности, запас прочности составляет 44,4 %.

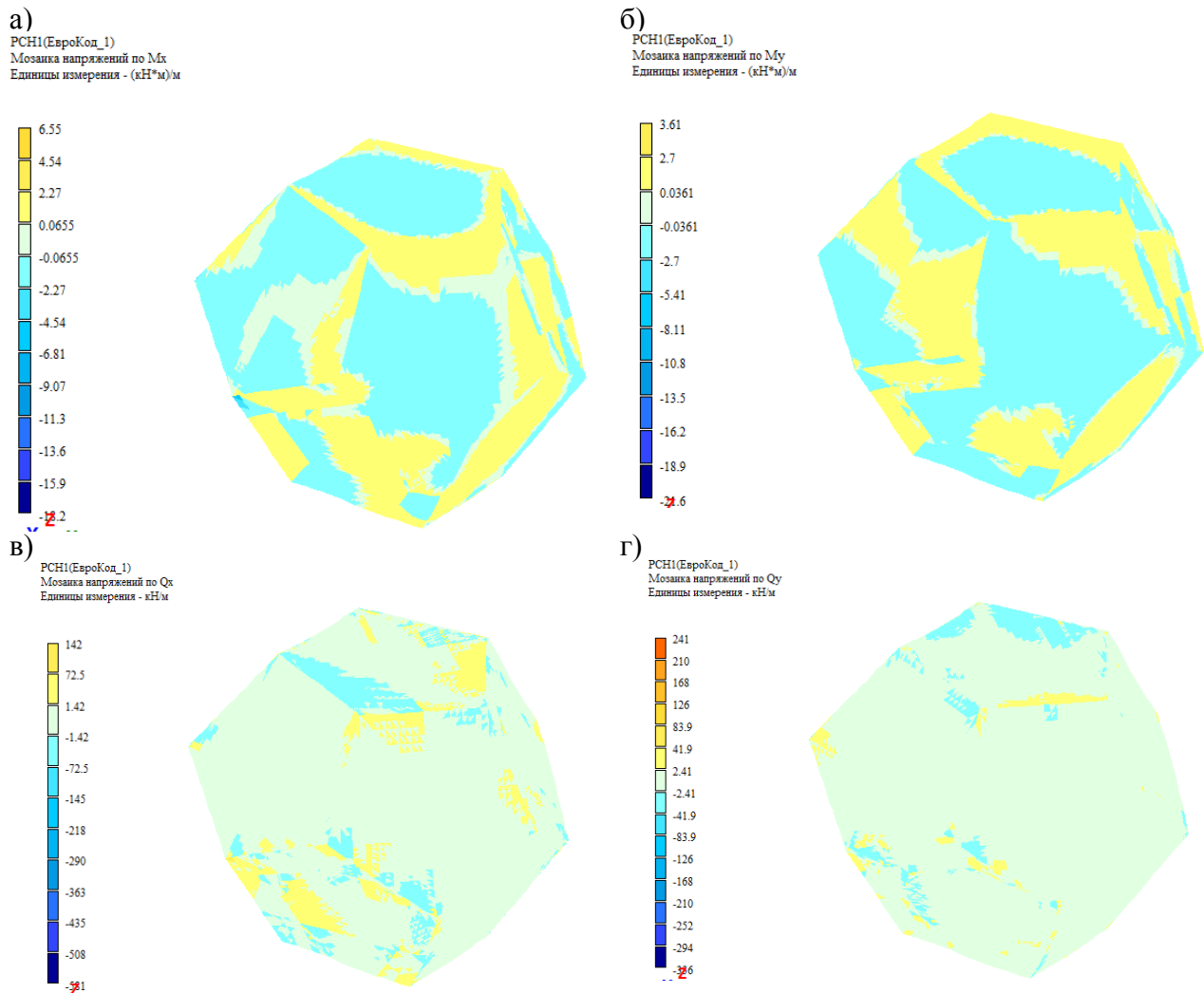


Рисунок 4 – Распределение изгибающих моментов и поперечных сил

Заключение

Современные материалы, изготовленные из волокна на основе полимерного связующего, имея небольшой объёмный вес, обладают высокой прочностью.

По своим прочностным характеристикам они в некоторых случаях превосходят традиционные материалы (сталь, древесина и т. д.) и могут быть успешно использованы в качестве материала для строительных конструкций или их отдельных элементов.

В настоящей работе в результате численного исследования было установлено, что ограждающие конструкции принятой двутавровой формы с заполнением пустот утеплителем, способны воспринимать внешние воздействия (собственный вес, полезную нагрузку, нагрузки от снега и ветра) с высоким запасом прочности.

Вопросы экологичности таких конструкций в данной работе не исследовались и требуют дополнительного углубленного изучения.

Список цитированных источников

1. FibR GmbH: Unique Filament Structures [Eltrtronic resource]. – Mode of access: <https://www.fibr.tech>. – Date of access: 02.04.2022.

2. Воздействия на конструкции Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки : ТКП EN 1991-1-3-2009 (02250) Еврокод 1. – Введ. 10.12.2009. – Минск : РУП «Стройтехнорм : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 50 с.

3. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85. – Введ. 01.01.1987. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.

4. Основы проектирования строительных конструкций. Строительные нормы Республики Беларусь : СН 2.01.01-2019. – Введ. 01.01.2019. – Минск : РУП «Стройтехнорм : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2019. – 102 с.

УДК 624.046.5

Колесниченко М. В.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Молош В. В.

РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕЗУ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ПЛОСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ БЕЗ ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ РАССМОТРЕНИИ НОРМАЛЬНОГО И НАКЛОННОГО СЕЧЕНИЙ

Введение

Одним из наименее изученных элементов монолитного железобетонного каркаса является узел сопряжения плоской плиты и колонны. Несмотря на многочисленные экспериментальные и теоретические исследования, выполненные к настоящему времени, в проблеме сопротивления срезу при продавливании до конца не ясен механизм распределения внутренних усилий и деформаций, а также не разработана точная и надежная расчетная модель, позволяющая предсказывать величину указанного сопротивления. Расчёты таких узлов в настоящее время ведутся как правило с применением моделей, полученных путём статистической обработки результатов экспериментальных исследований, и являются эмпирическими.

Основные положения расчётной модели

В расчёте предложено одновременно выполнять проверку нормального и наклонного к плоскости плиты сечений (сечения 1 и сечения 2 соответственно, рисунок 1).

Наиболее нагруженное нормальное сечение плиты (сечение 1 у грани колонны, рисунок 1) предложено рассчитывать по общему деформационному методу детально изложенному в работе [1].

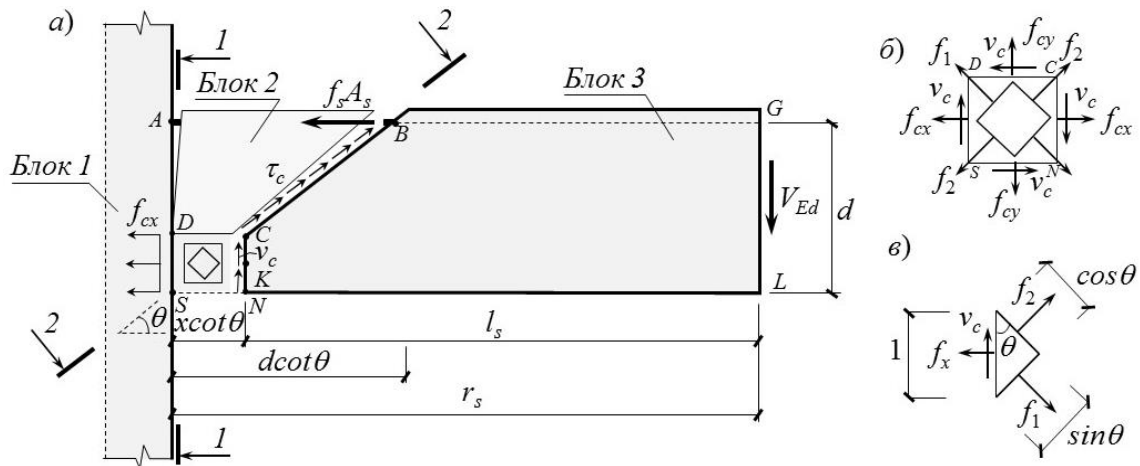


Рисунок 1 – Схема образования нормальной и наклонной трещин в процессе сопротивления срезу при продавливании

При этом нормальное к продольной оси поперечное сечение разбивают на отдельные полосы прямоугольной формы площадью A_{ci} . Ширина каждой полосы принимается равной расчётной ширине элемента b . В упрощенных моделях принимают допущение о том, что напряжения σ_{ci} в пределах каждого выделенного элементарной полосы бетона постоянны и равны напряжениям на уровне его центра тяжести. Поэтому относительные деформации рассчитывают на уровне центра тяжести каждого элементарного участка. Поперечное сечение разбивают на 10–12 полос по высоте, так как в этом случае допущение о постоянных напряжениях в пределах элементарного участка не вносит существенной погрешности в расчёты.

Для поперечного сечения необходимо составить уравнения равновесия, уравнения совместности относительных деформаций, физические уравнения, связывающие напряжения и относительные деформации для бетона и арматуры в виде диаграмм деформирования

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \sigma_{ci} A_{ci} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} A_{sj} = N_z; \\ \sum_{i=1}^n \sigma_{ci} A_{ci} y_{ci} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} A_{sj} y_{sj} = M_z; \end{cases} \quad \begin{cases} \varepsilon_{ci} = \varepsilon_z + \psi \cdot y_{ci}; \\ \varepsilon_{sj} = \varepsilon_z + \psi \cdot y_{sj}; \end{cases} \quad \begin{cases} \sigma_{ci} = f(\varepsilon_{ci}); \\ \sigma_{sj} = f(\varepsilon_{sj}); \end{cases} \quad (1)$$

где σ_{ci} , σ_{sj} – средние нормальные напряжения соответственно в i -й бетонной полосе и в j -м стержне арматуры;

A_{ci} , A_{sj} – площадь поперечного сечения соответственно i -й бетонной полосы и j -го стержня арматуры;

y_{ci}, y_{sj} – расстояние по вертикали от наиболее сжатой грани бетона до центра тяжести соответственно i -й бетонной полосы и j -го стержня арматуры;

M_z – изгибающий момент, вызванный действием внешней поперечной силы V_{Ed} ; ε_z – средние относительные деформации наиболее сжатой грани бетонного сечения;

ψ – кривизна поперечного сечения элемента.

Расчёт выполняется с учётом физической нелинейности сопротивления бетона в итерационной форме. Диаграммы деформирования для бетона приведена на рисунке 2 и описываются следующими выражениями:

- напряжения в бетоне при сжатии:

$$\sigma_c = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta} \cdot f_{cm}, \quad (2)$$

где $k = (1,1E_{cm} |\varepsilon_{c1}|) / f_{cm}$;

$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1}$;

$\varepsilon_{c1} = -0,002$;

E_{cm}, f_{cm} – среднее значение соответственно модуля упругости и прочности бетона при сжатии;

ε_c – текущие относительные деформации в бетоне при осевом сжатии;

ε_{c1} – относительные деформации в бетоне при сжатии, соответствующие пиковой точке на диаграмме деформирования;

- напряжения в бетоне при растяжении на восходящей ветви:

$$\sigma_{ct} = \left[1,2(\varepsilon_{ct} / \varepsilon_{ct1}) - 0,2(\varepsilon_{ct} / \varepsilon_{ct1})^6 \right] \cdot f_{ctm}, \quad (3)$$

где ε_{ct} – текущие относительные деформации в бетоне при осевом растяжении;

$\varepsilon_{ct1} = (44f_{ctm}) \cdot 10^{-6}$, МПа – относительные деформации, соответствующие пиковой точке на диаграмме деформирования при растяжении;

$f_{ctm} = 0,3f_{cm}^{2/3}$ – среднее значение прочности бетона при растяжении;

- напряжения в бетоне при растяжении на нисходящей ветви:

$$\sigma_{ct} = \frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_{ct1} \cdot \alpha_{ct} \left[(\varepsilon_{ct} / \varepsilon_{ct1}) - 1 \right]^{1,7} + (\varepsilon_{ct} / \varepsilon_{ct1})} \cdot f_{ctm}, \quad (4)$$

где $\alpha_{ct} = 0,312f_{ctm}^2$.

Для арматуры принята билинейная диаграмма деформирования Прандтля с пиковой точкой, соответствующей пределу текучести арматуры f_y .

Учитывая, что напряжения и относительные деформации на рассматриваемом уровне нагружения конструкции связаны текущим модулем деформаций E'_c ,

который представляет собой модуль упругости на соответствующем этапе нагружения и определяется из диаграмм деформирования [рисунок 2, выражения (4) – (6)], можно записать:

$$\begin{aligned}\sigma_{ci}(\varepsilon_{ci}) &= E'_{ci}\varepsilon_{ci}; \\ \sigma_{sj}(\varepsilon_{sj}) &= E'_{sj}\varepsilon_{sj}.\end{aligned}\quad (5)$$

Из совместного решения (1) и (5) система уравнений (1) может быть преобразована к виду:

$$\begin{cases} \left(\sum_{i=1}^n E'_{ci}A_{ci} + \sum_{j=1}^m E'_{sj}A_{sj} \right) \varepsilon_z + \left(\sum_{i=1}^n E'_{ci}A_{ci}y_{ci} + \sum_{j=1}^m E'_{sj}A_{sj}y_{sj} \right) \psi = N_z; \\ \left(\sum_{i=1}^n E'_{ci}A_{ci}y_{ci} + \sum_{j=1}^m E'_{sj}A_{sj}y_{sj} \right) \varepsilon_z + \left(\sum_{i=1}^n E'_{ci}A_{ci}y_{ci}^2 + \sum_{j=1}^m E'_{sj}A_{sj}y_{sj}^2 \right) \psi = M_x.\end{cases}\quad (6)$$

Расчёт нормального сечения на заданном уровне нагружения следует вести в итерационном виде, изменяя в процессе расчёта величину секущего модуля упругости до тех пор, пока рассчитанные и заданные значения продольной силы N_z и изгибающего момента M_x не будут равны между собой с требуемой точностью.

В результате расчёта нормального к продольной оси элемента сечения получают текущие значения напряжений, деформаций и модуля упругости в сжатой зоне бетона и растянутой арматуре.

Расчёт наклонного к продольной оси сечения следует вести из рассмотрения равновесия блока 3 (рисунок 1). При этом для элементов без поперечной арматуры могут быть составлены следующие уравнения равновесия:

$$\begin{cases} \sum X = f_c b x + \tau_c (d - x) b \cot \theta - f_s A_s = 0; \\ \sum Y = v_c b x + \tau_c (d - x) b - V_{Ed} = 0; \\ \sum M_k = V_{Ed} l_s - f_s A_s (d - 0,5x) + \tau_c (d - x) b \cot \theta \cdot 0,5x = 0,\end{cases}\quad (7)$$

где f_c – текущие нормальные напряжения в сжатой зоне бетона, полученные после расчёта наиболее нагруженного нормального сечения;

$b = 2 \cdot (a_k + b_k) + 3,1 \pi d$ – ширина расчётного сечения;

a_k, b_k – размеры колонны в плане;

x – высота сжатой зоны бетона;

τ_c – касательные напряжения, вызванные зацеплением контактирующих поверхностей бетона в наклонной трещине;

d – эффективная рабочая высота плиты;

f_s – текущие напряжения в продольной арматуре;

A_s – площадь продольной арматуры;

v_c – касательные напряжения, возникающие в сжатой зоне бетона над вершиной наклонной трещины;

V_{Ed} – внешняя обобщенная поперечная сила;

$l_s = r_s - x \cot \theta$ – расстояние по горизонтали от сечения с нулевым моментом до вершины наклонной трещины (рисунок 1);

r_s – пролёт среза;

θ – угол наклона трещины среза.

Из решения системы уравнений (7) может быть получено выражение для определения касательных напряжений v_c в сжатом бетоне над наклонной трещиной:

$$v_c = f_s \rho_l (h/x) [(d-x)/l_s - \tan \theta] - f_c (0,5x/l_s + \tan \theta), \quad (8)$$

где ρ_l – коэффициент продольного армирования поперечного сечения;
 h – высота плиты.

Средняя величина относительных деформаций при сдвиге в сжатой зоне бетона может быть получена по известной формуле

$$\gamma = v_c / G, \quad (9)$$

где $G = k \cdot E_c'$ – текущий модуль сдвига бетона;

$k = 0,305$ – корректирующий эмпирический коэффициент.

Зависимости между осевыми и главными относительными деформациями в сжатой зоне бетона могут быть получены из рассмотрения элементарной призмы (рисунок 1в) с учётом приведенных выше допущений в виде

$$\varepsilon_x = \varepsilon_1 \sin^2 \theta + \varepsilon_2 \cos^2 \theta; \quad 0,5\gamma = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \sin \theta \cos \theta. \quad (10)$$

Из системы уравнений (10) могут быть определены главные относительные деформации ε_1 и ε_2 .

Величина предельной перерезывающей силы V_{Ed} может быть определена из выражения

$$V_{Ed} = v_c b x + \tau_c (d-x) b, \quad (11)$$

где $\tau_c = \frac{0,18 \sqrt{f_{cm}}}{0,3 + 30 \cdot d \cot \theta \cdot \varepsilon_{sx}}$ – касательные напряжения, вызванные зацеплением

контактирующих поверхностей бетона в трещине среза;

ε_{sx} – относительные деформации в растянутой арматуре наклонного сечения 2, которые, для упрощения расчёта, могут быть приняты равными относительным деформациям в растянутой арматуре нормального сечения 1.

Список цитированных источников

1. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчёта и конструирования : учеб. пособие / Н. П. Блещик, Д. Д. Жуков, Д. Н. Лазовский ; под ред. проф. Т. М. Пецольда и проф. В. В. Тура. – Брест : БГТУ, 2003 – 380 с., с ил.

2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий = Праектаванне жалезабетонных канструкцый. Частка 1–1. Агульныя правілы і правілы для будынкау : ТКП EN 1992-1-1-2009. – Введ. 10.12.2009. – Минск : СЕН/ТС 250 «Еврокоды конструкций» : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 207 с.

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РАСЧЁТА СРЕЗУ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ПЛОСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ БЕЗ ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ РАССМОТРЕНИИ НОРМАЛЬНОГО И НАКЛОННОГО СЕЧЕНИЙ

Экспериментальные данные

Оценивание расчетной модели сопротивления срезу при продавливании, рассмотренной в статье «Расчёт сопротивления срезу при продавливании плоских железобетонных плит без поперечной арматуры при рассмотрении нормального и наклонного сечений», опубликованной в настоящем сборнике, было выполнено, опираясь на экспериментальные данные доступной базы, включающей результаты испытаний образцов-плит с разными геометрическими, физико-механическими характеристиками и значениями предельных перерезывающих сил. В оценивании использовались взятые из доступных литературных источников данные для 250 экспериментальных образцов, испытанных зарубежными и отечественными авторами. Частично экспериментальные данные, использованные в оценке достоверности расчётной модели, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные экспериментальные данные и результаты испытаний опытных образцов на сопротивление срезу при продавливании

№ п.п.	d , м	f_c' , МПа	E_c , МПа	p_l	f_y , МПа	E_s , МПа	V_{exp}
	1	2	3	4	6	7	8
1	0,2	89,2	51800	0,008	643	210000	0,965
2	0,2	86,7	42900	0,008	627	210000	1,021
3	0,194	81,4	37200	0,008	620	210000	0,889
4	0,2	87	41300	0,012	596	195000	1,041
5	0,198	90,2	43500	0,008	631	213000	0,944
...
25	0,098	97,2	43200	0,013	550	210000	0,362
26	0,098	41,4	35100	0,013	650	210000	0,286
27	0,098	83,2	41200	0,013	650	210000	0,405
28	0,1	55,7	36500	0,009	650	210000	0,341
29	0,1	32,5	32400	0,012	650	210000	0,244
...
125	0,082	16,6	25900	0,009	559	210000	0,245
126	0,082	9,1	21200	0,009	466	210000	0,162
127	0,082	12,9	23800	0,009	510	210000	0,215
128	0,08	16,3	25800	0,02	403	210000	0,239
129	0,082	9,1	21200	0,013	373	210000	0,152

Оценка достоверности расчетной модели

Статистические параметры ошибки моделирования были определены согласно процедуре, описанной в приложении Д к ТКП EN 1990 [1]. Качество модели определяли оценочными статистическими параметрами отношений экспе-

риментальных и расчетных значений перерезывающих сил V_{exp} / V_{calc} : оценочным средним, максимальным и минимальным значениями, коэффициентом вариаций, а также коэффициентом корреляции r_{ik} фактических экспериментальных и расчетных значений сопротивления срезу при продавливании (таблица 2).

Распределение отношений расчётных и экспериментальных значений перерезывающих сил V_{calc} / V_{exp} приведено на рисунке 1.

Таблица 2 – Сравнительные статистические параметры отношений расчетных и экспериментальных значений перерезывающих сил V_{calc} / V_{exp}

Результаты	<i>Min</i>	Среднее	<i>Max</i>	$C_v, \%$	b	$V_\delta, \%$	r_{ik}
1	2	3	4	5	6	7	8
Модель	0,489	0,96	1,66	21,9	0,846	22	0,964

Min, среднее, *max* – соответственно минимальное, среднее и максимальное значения отношений V_{calc} / V_{exp} ; C_v – коэффициент вариации отношений V_{calc} / V_{exp} ; b – поправочный коэффициент для среднего значения отношений V_{calc} / V_{exp} ; V_δ – коэффициент вариации для вектора ошибок δ отношений V_{calc} / V_{exp} ; r_{ik} – коэффициент корреляции экспериментальных V_{exp} и расчётных V_{calc} перерезывающих сил.

Анализируя результаты статистического исследования, приведенные в таблице 2 и на рисунке 2, можно отметить, что в среднем модель консервативна и даёт запас в пределах 5 % (среднее значение отношений V_{calc} / V_{exp} составляет 0,96). При относительно высоком уровне корреляции расчётных и экспериментальных значений перерезывающих сил (коэффициент корреляции r_{ik} близок к единице и составляет 0,964) и невысоких коэффициентах вариации C_v отношений V_{calc} / V_{exp} и коэффициенте вариации вектора ошибок V_δ , составивших по 22 %, модель даёт достаточно большой разброс отношений V_{calc} / V_{exp} относительно их среднего значения, составляющий около 100 % во всём диапазоне по ширине разброса. При этом для перерезывающих сил в диапазоне до 0,6 МН модель более безопасна (около 65 % отношений V_{calc} / V_{exp} меньше единицы), чем в диапазоне значений, превышающих 0,6 МН.

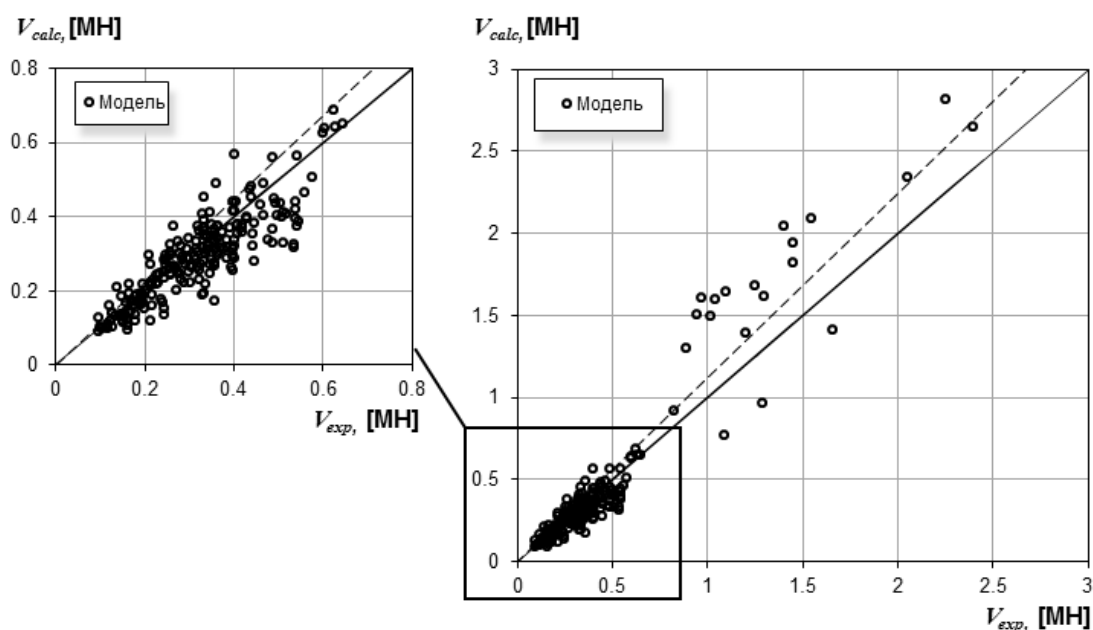


Рисунок 1 – Соотношение расчётных V_{calc} и экспериментальных V_{exp} значений перерезывающих сил

В среднем наиболее точные расчётные значения сопротивления срезу при продавливании получены для элементов с рабочей высотой плиты $d = 0,1 \div 0,15$ м, с коэффициентом армирования $\rho_l = 0,007 \div 0,017$ м, и со средней прочностью бетона $f_{cm} = 25 \div 35$ МПа. Для рабочей высоты плит, изменяющейся в пределах $0,15 \text{ м} \leq d \leq 0,28 \text{ м}$, расчётные значения перерезывающих сил V_{calc} относительно экспериментальных значений V_{exp} возростали от 0 % до 25 %. Для средней прочности бетона при осевом сжатии f_{cm} , изменяющейся в пределах $35 \text{ МПа} \leq f_{cm} \leq 120 \text{ МПа}$, превышение V_{calc} над V_{exp} составляет 0 %-50 %. А при изменении коэффициента продольного армирования ρ_l в пределах $0,017 \leq \rho_l \leq 0,052$ отмечается снижение V_{calc} относительно V_{exp} в среднем в диапазоне от 0 % до 18–20 %.

Наименее точные результаты расчёта получены для плит с рабочей высотой $d < 0,07$ м, а также при одновременно $d > 0,2$ м и $f_{cm} > 60$ МПа.

Причины большого разброса предельных перерезывающих сил V_{calc} могут заключаться как в недостатках самой модели, так и в неточностях интерпретации результатов экспериментальных исследований, их изложения и передачи посредством литературных источников.

Заключение

Несмотря на указанные несовершенства, рассматриваемая расчётная модель показывает неплохое совпадение расчётных и экспериментальных значений перерезывающих сил, которое по статистическим оценочным параметрам, приведенным в таблице 2 настоящей работы, не уступает моделям сопротивления срезу при продавливании, принятым в действующих нормативных документах или в проектах нормативных документов [6–8], а также широко известной модели сопротивления срезу при продавливании, базирующейся на положениях модифицированной теории полей сжатия [2, 3]. Детальный сравнительный анализ моделей [2–3, 6–8] приведен в работе [4].

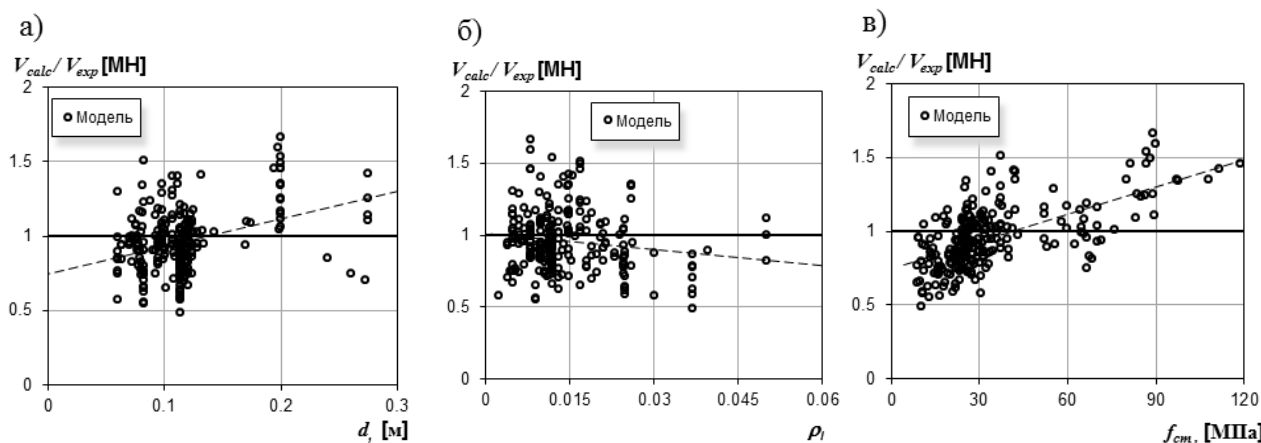


Рисунок 2 – Изменение отношений расчётных и экспериментальных значений сопротивления срезу при продавливании V_{calc}/V_{exp} в зависимости от величины рабочей высоты плиты d (а), коэффициента продольного армирования ρ_l (б) и средней прочности бетона при осевом сжатии f_{cm} (в)

При этом рассматриваемая в данной работе расчётная модель базируется на уравнениях механики, обладает большим физическим смыслом и целесообразностью применения в сравнении с моделями [6–8], а также в дальнейшем может быть усовершенствована.

Список цитированных источников

1. Основы проектирования строительных конструкций = Основы проектирования строительных конструкций : ТКП EN 1990-2011. – Введ. 15.11.2012. – Минск : СЕН/ТС 250 «Конструкционные Еврокоды» : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2011. – 70 с.
2. Vecchio, F. J. The modified compression-field theory for reinforced concrete elements subjected to shear / F. J. Vecchio, M. P. Collins // ACI Journal Proceedings. – 1986. – Vol. 83, iss. 2. – P. 219–231.
3. Тур, В. В. Расчет железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил / В. В. Тур, А. А. Кондратчик // Брест : БГТУ, 2000. – 400 с.
4. Молош, В. В. Сопrotивление срезу при продавливании самонапряженных плоских железобетонных элементов без поперечного армирования: дис. ... канд. тех. наук : 01.07.14 / В. В. Молош. – Брест : 2014. – 226 с.
5. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчёта и конструирования: учеб. пособие / Н. П. Блещик, Д. Д. Жуков, Д. Н. Лазовский ; под ред. проф. Т. М. Пецольда и проф. В. В. Тура. – Брест, БГТУ, 2003 – 380 с., с ил.
6. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий = Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Агульные правила и правила для зданий : ТКП EN 1992-1-1-2009. – Введ. 10.12.2009. – Минск : СЕН/ТС 250 «Еврокоды конструкций» : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 207 с.
7. Design of concrete structures – Part 1–1: General rules, rules for buildings, bridges and civil engineering structures : prEN 1992-1-1:2018 Eurocode 2. – Final draft of April 2018 by the Project Team SC2.T1 working on Phase 1 of the CEN/TC 250 work programme under Mandate M/515. – 293 p.
8. *fib* Model Code for Concrete Structures 2010. – Lausanne: International Federation for Structural Concrete (*fib*), Switzerland, 2013. – 432 p.

УДК 347.787

Горбач А. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Ипатова О. В.

ПРОИЗВЕДЕНИЕ АРХИТЕКТУРЫ КАК ОБЪЕКТ АВТОРСКОГО ПРАВА: ПРОБЛЕМЫ ЮРИДИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИНА

Ключевым элементом всей системы защиты авторских прав является объект авторского права. Отсутствие определение объекта защиты не только разрушает всю систему правоотношений, но может привести как к возможному ущемлению законных личных неимущественных прав, так и к материальным затратам и потерям (нарушение имущественных прав) субъектов авторского права, что является абсолютно недопустимым.

Предметом исследования в данной статье выступают произведения архитектуры как объекты авторского права. Данный вид объектов выделен Законом Республики Беларусь «Об авторском праве и смежных правах» (далее – Закон об авторском праве) как самостоятельный [1, абз. 8 п. 5 ст. 6].

Основная сложность при определении и классификации произведений архитектуры как объектов авторского права заключается в том, что в процессе архитектурной деятельности создается большое количество объектов, претендующих на включение в список объектов авторского права: эскизы, схемы, чертежи, изображения фасадов и внутренних помещений, общие и поэтажные планы, планы коммуникаций, планы размещения на местности, различного рода модели и конструкции (модели внешнего облика, модели внутренних опор, компью-

терные изображения (как плоскостные, так и объемные), так и все это сведенное воедино в форме архитектурно-строительного проекта, а также уже возведенные здания и сооружения и их отдельные элементы.

Это обстоятельство в совокупности с отсутствием в законодательных актах Республики Беларусь определения термина «произведение архитектуры», что предоставляет возможность его широкого толкования, усложняет процесс принятия правильного юридического решения. Отсутствие как ключевых отличительных признаков именно произведений архитектуры, так и критериев для их разграничения с произведениями из смежных областей – дизайна, графики или градостроительства, – а также междисциплинарный характер работы архитектора делают определение такого объекта авторских прав, как «произведение архитектуры», задачей весьма сложной.

Все вышесказанное является причиной того, что ни в научной среде, ни среди практикующих юристов нет единого подхода в решении вопроса о том, что считать произведением архитектуры с точки зрения авторского права, а что нет. Так, ряд специалистов по авторскому праву относят к таким произведениям архитектурные проекты в целом [2]. Их оппоненты считают этот подход не верным и придерживаются мнения, что к произведениям архитектуры должна быть отнесена только часть проекта, содержащая выражение творческого замысла автора [3]. Имеется ряд разночтений по отнесению к объектам авторского права уже возведенных зданий и сооружений, а также отдельных эскизов, схем, чертежей и макетов.

Так, Д. К. Хаутов считает объективной формой выражения произведения архитектуры и градостроительства не само здание (сооружение), а проект [4, с. 155]. Сходная позиция у Р. Мерзликина [5], А. Думанской и О. П. Поповой [6]. Исходя из этой позиции, авторским правом охраняется лишь архитектурное решение, выраженное в проекте, а здание является результатом строительной деятельности, не связанной в отличие от архитектурной с творчеством.

Существует противоположное мнение. А. П. Сергеев считает, что здания и сооружения являются основной объективной формой, в которой воплощается произведение [7, с. 152]. К. Д. Шестакова, основываясь на европейском опыте, тоже признает здание объектом авторских прав [8]. Справедливо отмечено Н. В. Слесарюк: «Отдельно от процесса возведения строения использование архитектурного проекта теряет всякий смысл» [9, с. 83].

Как видим, цивилисты не пришли к единому мнению по поводу того, что относится к произведению архитектуры как объекту авторских прав.

Комитет по архитектуре Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС) и ЮНЕСКО дает следующее определение произведениям архитектуры – это «здания и аналогичные сооружения, если они содержат оригинальные творческие элементы, как по форме, так и конструкции...» [10]. Таким образом, здание и на международном уровне признается объектом авторских прав.

И здания, и сооружения будут рассмотрены как объекты охраны авторских прав и как архитектурные произведения, соглашаясь с признанным авторитетом в этой сфере А. М. Люкшиным, который вполне обосновано, отмечает, что в архитектуре объект авторского права один – это произведение архитектуры, воплощающееся в различных формах (архитектурный проект, документация

для строительства), иными словами, архитектурное произведение – это один объект, который может выражаться в нескольких формах [11, с. 8]. Таким образом, можно утверждать, что архитектурным произведением как объект правовой охраны можно считать и проект, и его результат.

На наш взгляд, объект авторского права в архитектуре один – само произведение архитектуры, которое может воплощаться в различных формах: архитектурном проекте, документации для строительства, созданной на основе архитектурного проекта, или архитектурном объекте. Автор утвержденного в установленном порядке архитектурного проекта вправе участвовать в разработке строительного проекта и осуществлении авторского надзора за строительством объекта (ст. 19 Закона «Об авторском праве»). То есть при разработке строительной документации без согласия автора никакие изменения в проект вноситься не могут. Таким образом, автор архитектурного проекта также признается автором документации для строительства, разработанной на основе этого проекта.

В настоящее время, в условиях отсутствия в законодательстве Республики Беларусь прямых определений многих важных для принятия решения формулировок и терминов, в судебной практике применяется вариант действий через определение «творческого начала» произведения. Что, опять же при отсутствии законодательно закрепленных формулировок таких понятий, как «творчество» или «произведение», допускает разное толкование и не всегда приводит к справедливому и/или единообразному результату.

На наш взгляд, более правильным и продуктивным направлением действий является вариант закрепления в законодательных актах максимально точных и однозначных формулировок терминов и понятий, а вся юридическая аргументация должна строиться и ссылаться исключительно на нормы правовых документов. С этой позиции для определения, какие произведения архитектуры (точнее – в какой форме выраженные) являются объектом авторского права, приведем краткий анализ формулировок законодательства других стран.

Закон Республики Казахстан от 16 июля 2001 года № 242 «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Казахстан» [12] дает следующее определение: «Произведение архитектуры (градостроительства) – объект авторского права и интеллектуальной собственности автора (авторов), являющийся результатом творческого процесса в профессиональной деятельности физических лиц, направленного на создание какого-либо архитектурного объекта или формирование градостроительного пространства, включая авторский замысел, зафиксированный в форме проектной документации, отдельного чертежа, макета или эскиза, а также реализованный в натуре проект (часть проекта)». Такое определение дает ясное понимание, что в произведения архитектуры как объекты авторского права входят: проектная документация; отдельные чертежи, макеты и эскизы; построенное здание (или его часть).

Другим примером является определение понятие «architectural works» (Архитектурная работа / произведение), которое установлено в законе США 17 U.S.C. [13, § 102(a)(8)]: «Архитектурное произведение» – это дизайн здания, воплощенный в любом материальном носителе выражения, включая здание, архитектурные планы или чертежи. Работа включает в себя общую форму, а также расположение и композицию пространств и элементов в дизайне, но не включает в себя отдельные стандартные функции».

Из этого определения также можно сделать однозначный вывод, что в произведении архитектуры как объекты авторского права входит только вид здания (дизайн), существующий: а) в готовом и построенном здании, б) форме архитектурных планов и чертежей в целом. Важно, что законодатель США исключает из списка объектов авторского права «отдельные стандартные функции»: отдельные эскизы, чертежи и макеты, а также отдельные конструктивные элементы здания: окна, двери и другие компоненты здания.

В Российской Федерации действовавшая до 1 января 2008 г. глава 4 Федерального закона «Об архитектурной деятельности в Российской Федерации» [14] (утратила силу в связи со вступлением в силу части 4 ГК РФ [15]) предусматривала, что объектами авторского права на произведения архитектуры являются: «архитектурный проект, разработанная на его основе документация для строительства, а также архитектурный объект» [14, ч. 2 ст. 16]. Этот же закон определяет архитектурный объект как «здание, сооружение, комплекс зданий и сооружений, их интерьер, объекты благоустройства, ландшафтного или садово-паркового искусства, созданные на основе архитектурного проекта». Таким образом, до 1 января 2008 года российское законодательство прямо относило к объектам авторского права: а) архитектурный проект, б) всю разработанную на основании архитектурного проекта строительную документацию, в) отдельные готовые здания, сооружения, г) комплексы зданий и сооружений, д) интерьеры, д) объекты благоустройства и т. п.

На данный момент все вопросы авторского права в Российской Федерации регулируются частью IV Гражданского кодекса. Согласно ст. 1259 ГК РФ объектами авторского права являются «произведения архитектуры, градостроительства и садово-паркового искусства, в том числе в виде проектов, чертежей, изображений и макетов». Но так как юридического закрепления термина «произведение архитектуры» в законодательстве Российской Федерации не дано, то такая формулировка не только не упростила определение произведений архитектуры как объектов авторского права, но породила ряд вопросов, главным из которых является отнесение к произведению архитектуры уже возведенного здания или сооружения.

Приведенные примеры наглядно показывают, что закрепление в законодательных актах максимально точных и однозначных формулировок терминов и понятий не только уменьшает количество «творческого» толкования закона, но и значительно снижает количество возможных судебных ошибок. В силу этого будет целесообразным закрепить в законодательстве Республики Беларусь понятия «произведение архитектуры».

Но как формой произведения литературы является книга (материальный предмет), так и формой (воплощением) архитектурного проекта является здание. Не только эскиз статуэтки, но и сама статуэтка является произведением искусства. И не только первая статуэтка, но каждая последующая является произведением искусства. Не только нотные рукописи, но и звуковая форма музыкального произведения (звучащая музыка) являются формами музыкального произведения, не зависимо какой раз оно исполняется. И весьма разумным звучит аргумент: проект без здания не нужен сам по себе не только как вещь (эскиз, макет), но и как произведение искусства.

Авторским правом предоставляется исключительное право на любой способ воспроизведения формы, содержащей творческий замысел. Манипуляции со способом воспроизведения формы – «вынесения за скобки» строительного проекта – выглядят именно как манипуляции. На основании вышеизложенного можно заключить, что, во-первых, архитектурное произведение может воплощаться в форме архитектурного проекта, документации для строительства и архитектурного объекта. В статье доказывается, почему каждая из трех форм обладает охраноспособностью с точки зрения авторских прав, особенно внимание уделяется архитектурному объекту, так как именно в отношении этой формы существуют разногласия.

Исходя из анализа как мнений ученых-цивилистов, так и правовых норм, можно сделать вывод, что произведение архитектуры – это отдельный вид составного произведения, состоящего из нескольких объектов авторского права: архитектурного проекта (представленного, в свою очередь, несколькими объектами – эскизами, чертежами, макетами и т. п.), строительного проекта (чертежей, схем, таблиц) и самого здания (сооружения), элементы которого также являются отдельными объектами авторского права. Существует позиция, что архитектурный проект есть единственная верная, с точки зрения авторского права, форма произведения архитектуры. Или еще более кардинальная: есть только произведения искусства, науки и литературы, а произведение архитектуры относится к произведениям искусства, поэтому и считается, что только архитектурный проект может быть объектом авторского права.

Список цитированных источников

1. Об авторском праве и смежных правах [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 17 мая 2011 г., № 263-З; в ред. Закона Респ. Беларусь от 15.07.2019 г. // Эталон-Беларусь / Нац. цент правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.
2. Сергеев, А. П. Право интеллектуальной собственности в Российской Федерации / А. П. Сергеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ТК «Велби», 2003. – 752 с.
3. Пизуке, Х. А. Правовое регулирование архитектурной деятельности: диссертация ... кандидата юридических наук: 12.00.03 / Х. А. Пизуке. – Тарту, 1984. – 267 с.
4. Хаутов, Д. К. Архитектурная деятельность как объект авторского права / Д. К. Хаутов // Вестник Северо-Осетинского государственного университета им. К. Л. Хетагурова. – 2011. – № 2. – С. 155–161.
5. Мерзликина, Р. А. О правовом статусе архитектурных произведений как объектов авторского права / Р. А. Мерзликина // Интеллектуальная собственность. Авторское право и смежные права. – 2015. – № 1. – С. 11–12.
6. Думанская, А. Правовая охрана произведений архитектуры / А. Думанская, О. П. Попова // Ученые заметки ТОГУ. – 2013. – Т. 4, № 4. – С. 1092–1094.
7. Сергеев, А. П. Право интеллектуальной собственности в Российской Федерации / А. П. Сергеев. – Изд. 2-е., перераб. и доп. – М., 2003. – 752 с.
8. Шестакова, К. Д. К вопросу об объекте авторского права в области архитектуры / К. Д. Шестакова // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2010. – № 4. – С. 22–31.
9. Слесарюк, Н. В. Правовая охрана произведений архитектуры и градостроительства / Н. В. Слесарюк // Вестник ОмЮА. – 2012. – № 2 (19). – С. 84–87.
10. Works of architecture are buildings and similar constructions provided they contain original creative elements as to their form design or ornaments irrespective of the purpose of buildings or similar constructions / Committee of Governmental Experts on Works of Architecture, 20–22 October 1986 [Electronic resource]. – Access mode: <http://unesdoc.unesco.org/images/0008/000848/084827eb.pdf>. Access date: 02.05.2022.
11. Люкшин, А. М. Авторское право на произведения архитектуры: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.03 // А. М. Люкшин. – СПб.: СПГУ, 2004. – 20 с.

12. Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Казахстан [Электронный ресурс] : Закон Респ. Казахстан от 16 июля 2001 г. № 242: в ред. Закона Респ. Казахстан от 27.12.2021 г. // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан / Институт законодательства и правовой информации Республики Казахстан. – Астана, 2022.

13. 17 United States Code Copyrights § 102. Subject matter of copyright: In general: act July 30, 1947: in red. Oct. 19, 1976, Pub. L. 94–553 // The U.S. Government Publishing Office [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/USCODE-2011-title17/html/USCODE-2011-title17.htm>. – Access date: 02.05.2022.

14. Об архитектурной деятельности в Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федер. закон, 17.11.1995 № 169-ФЗ: в ред. Фед. закона от 19.07.2011 г. // КонсультантПлюс. Россия / ЗАО «Консультант Плюс». – М., 2022.

15. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) [Электронный ресурс]: 18 декабря 2006 г., № 230-ФЗ: принят Гос. Думой 24 ноября 2006 г.: одобр. Советом Федерации 8 декабря 2006 г.: в ред. Федер. закона от 24.07.2020 г. // КонсультантПлюс. Россия / ЗАО «Консультант Плюс». – М., 2022.

УДК 721.054.4

Сидоренко А. А., Щербаков А. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Густова А. Ю.

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ФОРТА «Б» И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ КАЗАРМЫ «БВ»

Работа с наследием в Беларуси является частью обеспечения доступа граждан к культуре. Проекты, связанные с наследием, совершают вклад в укрепление идентичности, развитие и расширение кругозора. Наследие понимается как набор ценностей, объективированных в широкий спектр проявлений материальной и нематериальной культуры. Наследие – это то, что сами сообщества соглашаются считать таковым, совокупность культурных достижений общества, культурно-исторический опыт, имеющий какое-либо значение для общества и сохраняющийся в социальной памяти.

Материальные и духовные ценности, созданные предыдущими поколениями, несут в себе важность не только для сохранения культурно-исторической памяти, но и культурного и природного генофонда страны.

Важнейшей **проблемой** является то, что у большинства объектов Беларуси до сих пор не определены буферные зоны, а также не были разработаны планы управления этими объектами. Эта проблема напрямую связана с конфликтом между необходимостью развития и сохранения, а также с законодательством: если в законодательстве не отражены понятия «буферная зона» и «план управления», то на эту работу невозможно выделить финансирование из государственных средств. А отсутствие таких охранных документов влечет за собой приход объектов наследия в упадок.

Цель работы – обзор сектора культурного наследия в Беларуси и выявления важнейших направлений его развития с учетом местных условий.

Под направлениями развития сектора подразумевается не столько улучшение ситуации с охраной и популяризацией, сколько возможности использования потенциала наследия для развития социально-экономической и культурной

сфер, а значит в первую очередь повышения качества жизни городов и регионов. Вместе с тем значительное число объектов историко-культурного наследия находятся в ненадлежащем техническом состоянии и не имеют функционального приспособления.

Брестская крепость является уникальным памятником военной фортификации XIX – начала XX веков, состоящая из фортов и различных промежуточных долговременных и полевых укреплений, двумя линиями опоясавшая город.

В 1864 г. началась реконструкция крепости по плану, разработанному фортификатором Эдуардом Тотлебенем. Согласно ему, Брестскую крепость планировалось превратить в крепость фортового типа, с целью чего были проведены работы по утолщению главного вала, некоторые отделочные решения, восстановлены и приведены в порядок редюиты. Строились казематированные артиллерийские батареи, капониры и дополнительные пороховые погреба. В целях противодействия обходу крепости противником, затруднения ее блокирования, удержания важных пунктов, расположенных вблизи крепости, стали возводиться отдельные мощные укрепления – форты.

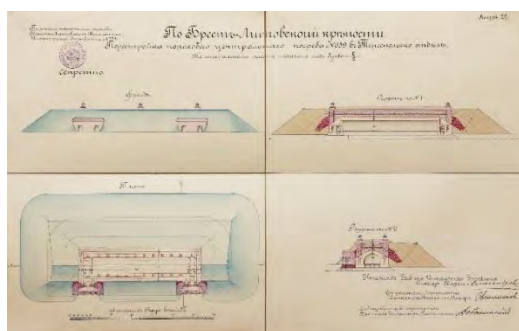


Рисунок 1 – Генеральный план Брестской крепости

Типовой форт в плане имел пятиугольную форму с двумя прилегающими валами. Высокий внутренний вал с пятью казематированными траверсами

предназначался для установки артиллерийских орудий, а передний, более низкий вал, был оборудован под стрелковые позиции, в углах которого имелись барбетты для легких противотанковых пушек. Внутри форта располагалась жилая казарма с четырьмя казематами, рассчитанными на роту солдат, которая в свою очередь была связана с капонирами и полукапонирами потернами, в которых были устроены пороховые погреба, а входы в них запирались изнутри железными дверями 30-сантиметровой толщины с массивными замками.

В начале 1890-х годов в Брест-Литовской крепости приступили к инженерному развитию межфортовых промежутков. В каждом секторе строили пороховые склады, насыпали земляные валы, прикрывавшие позиции артиллерийских батарей. Часть передовых опорных пунктов была оборудована бетонными укрытиями.

Появление фугасных снарядов в середине 80-х годов XIX века дает толчок к новому переустройству крепостных сооружений.

В 1909 году был разработан план усовершенствования Брест-Литовской крепости: было решено возвести вокруг нее второе кольцо фортов.

Согласно плану, оборонительный обвод должен был состоять из 14 фортов, 21 опорного пункта, 5 оборонительных казарм и нескольких десятков артиллерийских батарей. На расстоянии 6 – 7 км от крепости создавалась линия из 11 новых фортов, получивших литерные обозначения: А, В, Г, Е, Ж, З, И, К, Л, М, О. В состав этой позиции вписывались и старые форты I, VIII и X. Два последних стали, соответственно, фортами Б и Д. Между фортами планировалось возвести опорные пункты, предназначенные для подвижных резервов, а также казармы и артиллерийские погреба.

Послевоенные годы нанесли крепости и фортам большой урон. Для строительства требовались материалы и местные жители разбирали на кирпичи руины крепости и старых фортов. Многие неоконченные форты попали под городскую и дачную застройку и были полностью уничтожены.

Сегодня на территории Бреста находятся 16 фортов различной степени сохранности, из которых: форт № 1, форт № 5, форт № 8, форт литеры А, форт литеры Б-В, форт литеры Е, форт литеры Ж и форт Граф Берг имеют хорошее состояние. Форты № 2, № 4, № 9, а также литерные В, Г и М являются разрушенными. Оставшиеся форты под № 3 и № 10 находятся на территориях организаций, оценить состояние которых не представляется возможным.

В Брестском же районе располагаются 4 форта.

Предметом исследования и разработки нашей научной работой стал кластер из форта “Б” и прилегающей к нему казармы “БВ”. Углубившись в вопрос сохранения фортов и их модернизации, мы пришли к идее о переоборудовании некоторых частей укрепительных сооружений под современные функции и их объединению, с целью сохранения и популяризации их в кругах молодежи как памятников истории с соблюдением исторических справок, но функционально уже интерпретированных под современные нужды человека.

1. VIII форт был построен в **1883–1888 г.** В **1911 г.** начались работы по модернизации VIII форта, который получил литерное наименование “Б” и фактически был отнесен к фортам первой линии.

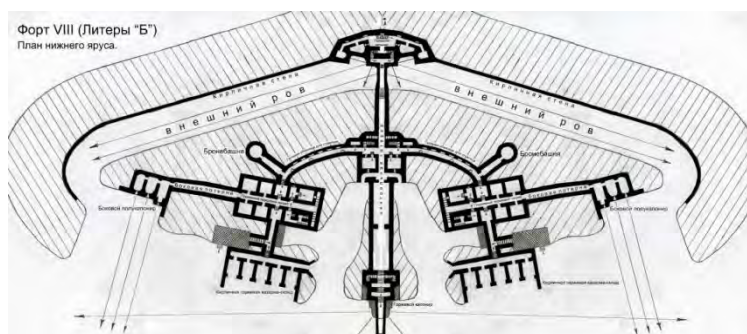


Рисунок 2 – Форт VIII. План нижнего яруса

Проект модернизации укрепления предусматривал почти полную перестройку укрепления. Двухвальное кирпичное укрепление превращалось в одно-вальный бетонный форт современной конструкции. Сегодня к территории форта прилегает жилая многоэтажная застройка. У форта «Б» удовлетворительное состояние, стены и капониры не имеют пробоин, что позволяет разместить различные объекты без серьезного реконструкционного вмешательства и нарушения первозданности исторического объекта. Сохранилось правое крыло казармы, руины левого крыла, центральная потерна с капониром, фрагмент средней галереи с расположенной над ней стрелковой галереей и оба артиллерийских убежища со сквозняками.

По своему строению форт «Б» имеет большое количество относительно тесных коридоров и отстрелочных пунктов. Для интерпретации под современные нужды человека подходят далеко не все помещения, поэтому под разработку мы выделили такие, как горжевой капонир, кирпичные горжевые казармы-склады, пороховые погреба.



Рисунок 3 – Форт VIII. Горжевой капонир

Горжевой капонир представляет собой приземистое сооружение с округлыми центральными выступами и двумя входами с бронированными дверьми. Связан длинными коридорами, позволяющими пройти в центральную паттерну. За основу мы взяли входную группу форта, перед которой расположится летняя терраса для посетителей кафе и зона рекреации с детской площадкой.

Такая идея послужит центром внимания для проходящих по маршруту людей с возможностью остановиться на отдых и посетить детскую площадку с детьми. Летняя терраса будет представлять собой открытую зону с навесами, под которыми будут располагаться как места со столами и стульями для принятия пищи, так и зоны отдыха со скамьями, обнесенные по периметру зелеными насаждениями.

Кирпичные горжевые казармы-склады представляют собой сооружение для длительного размещения личного состава воинских формирований вооруженных сил, одновременно выступая в качестве складов для хранения некоторого продовольствия, бытовой утвари и личных вещей солдат.



Рисунок 4 – Форт VIII. Кирпичная казарма-склад в горжевой части форта

За именем большой площади помещения казарм хорошо подходят для переоборудования. Разработка была начата со стороны гаражей, которые в свою очередь было принято переоборудовать в кафе. Такое решение было принято по причине максимально близкого расположения этой части форта к жилым образованиям и повышенной видимости с уже существующих пешеходных маршрутов.



Рисунок 5 – Форт VIII. Пороховой погреб

Пороховые погреба оборудованы стеллажами, ларями, шкафами, системой вентиляции с охлаждением и влажностной обработкой воздуха, системами пожаротушения, контрольно-измерительными приборами и сигнальными средствами.

С развитием технологий в области IT появились виды работ, которые не требуют личного присутствия в офисе, и вся деятельность проходит сугубо в интернете. Время от времени у каждого фрилансера или студента возникает желание, а порой и необходимость, поработать вне стен офиса или дома. Чаще всего места для сосредоточенной работы с ноутбуком выбирают в пользу уютного и тихого места. Зоны коворкинга пользуются большой популярностью в кругах как молодежи, так и взрослого контингента людей, которые ищут коллективной работы или помощи решения своих задач. Помещения пороховых погребов отлично подходят для реализации этой идеи.



Рисунок 6 – Казарма Б-В

2. Казарма Б-В построена в 1912 – 1914 годах на расстоянии пяти километров к северу от Брестской крепости, недалеко от бывшей деревни Дубровка, ныне ставшей районом города, и автодороги Брест-Каменец. Представляет собой казарму для гарнизона, состоящую из нескольких связанных между собой обширных казематов, соединённую коридором с выходом наверх.

Размеры сооружения около 60×30 метров. Находится в 1.5 км от форта Б, что не критично для транспортных связей. Состояние казармы удовлетворительное. Крыша и фасады имеют озеленение, которое необходимо сохранить, но необходимо решать проблему гидроизоляции внутренних помещений. Казармы создают свою особую атмосферу солдатской близости и сплоченности, благодаря которой мы пришли к идее разместить в самом здании винодельню или пивоварню со своим баром, в которых можно было бы собираться компаниями. Также возможно размещение иммерсионного театра, который бы воплотил историю в жизнь, растворил границы между актерами и зрителями, сходя со сцены и полностью погружая публику в происходящее. Это место отлично подойдет не только для жителей города, но и для туристов. Туристы, которые знают очень мало о славянской культуре и истории, получают четкое представление о культуре того времени, а также смогут сами поучаствовать. Такой опыт будет интересен и актуален для разных поколений, в том числе он не будет иметь аналогов в РБ, что тем самым будет привлекать еще больше внимания населения.

Для связи всех сооружений в один единый кластер было принято решение развить сеть пешеходных и велосипедных маршрутов. Сегодня велосипед очень актуален – многие современные люди отдают предпочтение передвижению на велосипедах. Для любителей активного образа жизни это неотъемлемый атрибут ежедневного времяпровождения. Маршруты будут соединять исторические памятники и еще больше развивать популярность объектов истории, благодаря которым вовлекут людей, интересующихся долгими пешеходными прогулками, с красивыми видами и близостью к природе. Появится новый захватывающий маршрут с необычным рельефом для людей, увлекающихся велоспортом и бегом. Также возможно расположение экотропы.

Актуализация наследия способствует посещению населенных пунктов и некоторому повышению спроса на продукты и услуги в них. Чаще всего повышение посещений происходит вследствие открытия после знаковых объектов.

Сохранение памятников может оказывать антициклический эффект, стабилизирующий местную экономику. Реставрация может быть частью экономического развития как одна из отраслей, работающих на локальном уровне. Помимо прочего, в мире это прибыльный растущий бизнес. Льготы и дотации на сохранение наследия делают его выгодным для инвесторов.

В Беларуси потенциал культурного развития наследия используется далеко не в полной мере. Культурное наследие в Беларуси вместо реализации своих многочисленных объединяющих и развивающих функций остается либо индивидуальным хобби/увлечением, либо средством удовлетворения научного интереса. Нематериальное культурное наследие Беларуси преимущественно моноэтническое, традиционное и сельское. Наследие городской культуры представлено недостаточно. Потенциал наследия еще только начинает раскрываться.

Список цитированных источников

1. Мякиш, А. Е. III. Брестская крепость / Андрей Мякиш // Тайны старых фортов: 1915 год: оборонительные действия Русской армии на Восточном фронте Первой мировой войны / Андрей Мякиш. – Гродно, 2016. – С. 51—70.

2. Соколик, Т. Н. Система оборонительных сооружений Брестской крепости / Т. Н. Соколик, В. А. Кочева // Сборник конкурсных научных работ студентов магистрантов / УО "Брестский государственный технический университет". Брест, 2014. – Ч. 1. – С. 208–212.
3. Соколик, Т. Н. Оборонительные сооружения Брестской крепости / Т. Н. Соколик, В. А. Кочева // Сборник тезисов научной студенческой конференции "Неделя науки — 2014" / УО "Брестский государственный технический университет". – Брест, 2014. – С. 73–74.
4. Кароза, А. И. Вопросы изучения фортификационных сооружений г. Бреста / А. И. Кароза // Традыцы і сучасны стан культуры і мастацтва: матэрыялы Міжнароднай навукова-практычнай канферэнцыі, 28–29 лістапада 2013 года, г. Мінск : у 2 ч. – Мінск, 2014. – Ч. 1. – С. 64–68.
5. Шорох, В. С. Система фортов Брестской крепости перед Первой мировой войной / В. С. Шорох, В. В. Борисов // Первая мировая война на Беларуси: сборник докладов Международной научно-практической конференции, 15 декабря 2013 г. / УО "Брестский государственный технический университет". – Брест, 2013. – С. 26–30.
6. Савельева, В. Погреб под охрану [Минкультуры утвердило охранную зону для порохового погреба, относящегося к фортификационным сооружениям Брестской крепости] / Влада Савельева // Брестский вестник. – 2014. – 6 марта (№ 10). – С. 7.
7. Никольский, А. "Брест–2019" обрел реальные очертания [в Музее обороны Брестской крепости прошел международный семинар "Современное состояние фортификационного наследия Брестской крепости"; фото] / Андрей Никольский // Брестский вестник. – 2013. – 28 ноября (№ 48). – С. 12.
8. Форт V другие форты Брестской крепости. Уникальные объекты военной фортификации : обзор книги // Беларуская думка. – 2010. – № 3. – С. 13.
9. Мороз, Е. Старым фортам – новую жизнь / Е. Мороз // Заря. – 2009. – 21 февр. – С. 9.
10. Митюков, А. Форты Брестской крепости / Алексей Митюков // Заря (Брест). – 2007. – 25 января. – С. 7.

УДК 728.03

Борисенко В. С., Шмуговец В. Л.

Научный руководитель: кандидат архитектуры, доцент Кароза А. И.

ЭВОЛЮЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ

Целью работы является анализ эволюции строительства многоэтажных жилых домов, начиная с Древнего Мира и заканчивая современным этапом.

Предпосылкой эволюции всегда является изменчивость человека, а движущими силами: естественный отбор жилья.

Строительство многоквартирных жилых домов зачастую воспринимается как явление современной урбанизации XX–XXI вв., однако уже в архитектуре древнего мира можно найти примеры многоэтажных дворцов с жилыми помещениями внутри и многоэтажных жилищ-башен, а также многоэтажных пирамидальных жилых построек, порождавших уже на тот момент жилищное неравенство населения. Ключевым фактором строительства многоэтажных жилых домов исторически становится высокая стоимость земли и перенаселенность городов.

Древний мир и Античность

В больших античных городах Древнего Рима преобладало два типа жилища: особняки и многоэтажные доходные дома, которые могли иметь от 3 до 6 этажей, превращая «узкие улицы в глубокие ущелья, недоступные свету солнца».

Многоэтажные дома, в которых квартиры сдавались внаем, назывались инсулами.

Если римский особняк был повернут к улице глухой стеной, то в инсуле каждый этаж рядом окон смотрел на улицу или во внутренний двор. На первых этажах многоэтажных домов обычно располагались торговые лавки и общественные туалеты. Одинаковые по своим основным чертам и плану, инсулы были разнообразны по величине и предназначались для жильцов с разным достатком.

Внешний вид инсулы строг и прост. Стены украшались редко (узорчатая кирпичная кладка). В декоре фасада появились новые элементы — балконы, лоджии.

В эпоху империи инсула стала основным типом жилища в крупнейших городских центрах, таких как Рим и Остия.

Новое время

В Европе практика строительства многоквартирных арендных домов возродилась в середине XVII века.

После Первой мировой войны в Германии необходимость строить дешевое, но при этом достаточно комфортное жильё для быстро растущего числа рабочих, привело к появлению нового направления в архитектуре многоквартирных домов.

Во Франции конца XVIII – первой трети XIX вв. с ростом городов доходные многоквартирные дома становятся основной единицей городской застройки в процессе перестройки средневековой уличной сети и благоустройства города.

В 1815 г. в Польше возникает также многоквартирный тип жилого дома, в котором квартиры сдаются внаем.

В Российской Империи в 1760–1770 гг. основным типом застройки центральных жилых кварталов Санкт-Петербурга становится трех-, четырехэтажный многоквартирный жилой дом со сплошным фасадом. Из-за возрастающего количества населения стало широко развиваться строительство многоквартирных жилых домов по образцовым проектам. В Москве конца XVIII в. появляются первые многоквартирные жилые дома, часть квартир которых сдавалась внаем – своего рода доходные дома.

Новейшее время

Квартиры стали более экономичными, строго упорядоченными по типам, назначению, организации жилых ячеек, своим планировочным приемам, степени благоустройства и даже архитектурно-художественному облику.

Архитекторы создавали новые типы планировки, рассчитанные на самые различные потребности, стремясь привлечь больше потребителей. При этом значительно усилилось внимание к благоустройству и комфорту. Многие богатые квартиры городских жилых домов получили в это время центральное отопление, газ, электроосвещение, канализацию, вентиляцию, оборудовались лифтами. Кухни и санитарные узлы были объединены в группу подсобных помещений, в связи с чем с начала XX в. распространяется строго секционная планировка квартир. Вследствие роста стоимости земельных участков происходило дальнейшее повышение этажности застройки.

На смену социальному расслоению пришла политика «социальной однородности».

Одной из главных утопий ранней советской республики стали коммуны. Мечта о временах, когда частная собственность исчезнет, а люди будут жить вместе и поровну делить общественные блага, не обошла стороной архитекторов. Начали строить специальные дома-коммуны. Но почти все такие эксперименты провалились.

Уплотнение многокомнатных квартир доходных домов привело к появлению огромного количества многосемейных квартир. Это способствовало формированию специфического коммунального быта, который на многие десятилетия стал отличительной чертой жизни городского населения.

На момент разработки государственной жилищной программы в массовом жилищном строительстве превалировало жилье, называемое сегодня «сталинками». Нормативный срок строительства пятиэтажного жилого дома составлял 3,5 года. По причине острого дефицита электроэнергии, дома зачастую сдавались без центрального отопления, с устройством печей. Опасность отравления угарным газом, в свою очередь, предполагала создание больших строительных объемов (устройства высоких потолков). Дома заселялись преимущественно на коммунальной основе, что ухудшало и без того сложную послевоенную демографическую ситуацию.

Практически все дома сталинской застройки — штучные изделия. Первоначальная идея, что ни одно здание не будет повторять другое, позволяет осуществить мечту пролетариев — строить собственные дворцы.

На смену «сталинкам» пришли панельные кирпичные пятиэтажные «хрущёвки» в 1955 году. В них нет лифта и мусоропровода. Совсем миниатюрные кухни и прихожие. Жилая площадь квартир от 16 до 40 м.кв.

В качестве обязательных элементов каждой квартиры в правилах указывалась кладовая, спальня, общая комната (не меньше 14 кв. м). Нормативы только допускали устройство совмещенных санузлов, на самом деле «совмещение» стало повсеместной практикой. На смену коммуналкам пришло посемейное заселение. «Минимализация» дала свои результаты: коммунальные квартиры в тот период не проектировались. Строительство «хрущёвок» продолжалось по 1985 год.

Улучшенной версией «хрущёвок» были «брежневки». Туалет и ванная комната стали отдельными. Исключение составляют только некоторые планировки 1-комнатных квартир. Увеличились размеры оконных проемов. В квартирах появились лоджии. Кладовки сохранились только в самых больших квартирах. В коридорах остались встроенные шкафы. Планировками брежневских квартир предусматриваются отдельные комнаты.

Особенно популярными брежневками на сегодняшний день являются 2-комнатные квартиры с планировкой комнат выходящими на противоположные стороны.

Заключение

Развитию строительства многоэтажных жилых домов способствовала перенаселенность городов преимущественно бедными слоями населения. Перед городскими властями стояла практически решить эту проблему, а не

улучшить жилищные условия. Процессы урбанизации, начавшиеся задолго до современного этапа развития общества, породили в том числе и жилищное неравенство – если в древнем мире в основном бедняки населяли многоэтажные доходные дома, то в современном мире наоборот квартиры на верхних этажах (пентхаусы) высотных зданий считаются элитными и приобретаются исключительно представителями обеспеченных слоев населения.

Новое время сохранило тенденции многоэтажного жилищного строительства, однако в следствие развития капиталистических отношений окончательно утвердился и стал наиболее распространенным такой тип городского жилища, как доходный многоквартирный дом с достаточно комфортными санитарно-гигиеническими условиями проживания. При этом жителями подобных домов становились не бедняки как в Древнем Риме, а рабочие, государственные служащие и т. п.

В Новейшее время сохраняются как тенденции малоэтажного, так и многоэтажного строительства многоквартирных домов, однако все сильнее проявляется эффект городского зонирования – стоимость земли в зависимости от удаленности от центра города обуславливает как высоту зданий, так и квартирную плату. Начинает наблюдаться социальная однородность жильцов многоквартирных домов.

При этом, если в доходных домах Европы сохраняется индивидуальный стиль квартир. В советские годы жилье строилось рекордными темпами и в огромных количествах. Об уюте и комфорте будущих жильцов особо никто не заботился, главное – обеспечить как можно больше людей крышей над головой. Эта цель была достигнута, но в итоге города оказались застроены безликими домами с однотипными и неудобными планировками.

Считалось, например, что для советского труженика самое необходимое – работа и отдых. В результате в квартирах появились небольшие комнаты, тесные прихожие, крохотные кухни площадью пять-шесть «квадратов», неудобные санузлы, расположенные не рядом со спальней, а по соседству с кухней. И если для того времени такое жилье считалось вполне нормальным, то современным требованиям оно, конечно же, не отвечает.

С распадом СССР и возникновением частной собственности на жилье институт доходных домов сменяется институтом общедомового имущества – собственники помещений в многоквартирных домах становятся владельцами в долях крыш, подвалов, инженерных коммуникаций и т. п. Постепенно происходит уход от типовой застройки – города начинают пестрить многоквартирными домами, выполненными по индивидуальным проектам, нередко несогласующимся с обликом города в целом.

Современный мир со своими высотными зданиями и «умными домами» бросает перед проектировщиками и архитекторами все новые и новые вызовы. Высотный многоквартирный дом по своему количеству квартир может быть сопоставим с целым микрорайоном пятиэтажек, что возлагает на строителей большую ответственность и предъявляет серьезные требования к его безопасности – упавший 13-этажный многоквартирный дом 27 июня 2009 г. в Китае является грозным тому напоминанием.

Список цитированных источников

1. Бутягин, В. А. Часть III. Многоэтажные жилые дома / В. А. Бутягин // Методические указания по проектированию жилых зданий [Электронный ресурс]. — 2009. — Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7205646/#4>. — Дата доступа: 18.04.2022.
2. Комсомольская правда. Недвижимость // Эволюция жилья: как менялись наши квартиры [Электронный ресурс]. — 2012. — Режим доступа: <https://www.spb.kp.ru/daily/-25850/2819548/>. — Дата доступа: 18.04.2022.
3. Трушин, Г. Жильё / Г. Трушин // Доходный дом: как был устроен рынок аренды жилья в России до 1917 года. [Электронный ресурс]. — 2017. — Режим доступа: <https://reality.rbc.ru/news/58d4d1cf9a7947b08201b19a>. — Дата доступа: 16.04.2022.
4. Кошеленко, Г. А. Жилые сооружения. Инсулы / Г. А. Кошеленко // Архитектура Римской империи. Архитектура Древнего Рима [Электронный ресурс]. — 1973. — Режим доступа: http://antique.totalarch.com/gha_roma/3/18. — Дата доступа: 17.04.2022.
5. Лемякина, Т. А. Аудит и финансовый анализ / Т. А. Лемякина // Эволюция инноваций в жилищном строительстве [Электронный ресурс]. — 2012. Режим доступа: https://auditfin.com/fin/2012/5/2012_V_10_14.pdf. — Дата доступа: 13.04.2022.
6. Многоквартирный дом в Древнем Риме [Электронный ресурс]. — 2019. — Режим доступа: <https://ohitalia.ru/novosti/mnogokvartirnyj-dom-v-drevnem-rime/>. — Дата доступа: 17.04.2022.
7. Дадашева, А. Антропология коммуналки / А. Дадашева // Краткая история жилищного вопроса [Электронный ресурс]. — 2017. — Режим доступа: <https://arzamas.academy/materials/595>. — Дата доступа: 16.04.2022.
8. Российский дом будущего. Долгосрочная стратегия массового строительства жилья в России // Жилищные и градостроительные принципы, традиции, концепции и подходы. [Электронный ресурс]. — 2007. — Режим доступа: https://raex-a.ru/researches/city/town-planning_principles. — Дата доступа: 20.04.2022.
9. Жабкин, Д. История формирования жилищной культуры. От доходного дома до квартиры / Д. Жабкин [Электронный ресурс]. — 2016. — Режим доступа: <https://djhooligantk.livejournal.com/1258119.html>. — Дата доступа: 21.04.2022.
10. Попов, Г. История «квартирного вопроса» / Г. Попов [Электронный ресурс]. — 2007. — Режим доступа: <https://xn---stb8d.xn--p1ai/Portfolio/99/>. — Дата доступа: 20.04.2022.

УДК 699.8

Стасюк Е. В., Солтанюк М. М.

Научный руководитель: ст. преподаватель Глушко К. К.

РАСЧЁТ ДВУМЕРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ С ЛИНЕЙНЫМИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Введение

Математические зависимости, предложенные для проведения теплотехнических расчётов, заложенные в строительных нормах [СП], основаны, вообще говоря, на одномерном представлении температурного поля в ограждающих конструкциях [Б]. Такой расчёт прост и может быть легко произведён, однако главным недостатком является его невысокая точность. Реальные конструкции наружных ограждений, как правило, содержат в себе теплотехнические неоднородности различных типов: объёмные, линейные и точечные. Места примыкания наружных стен и перекрытий, места их соединения с иными элементами, имеющими отличное термическое сопротивление, значительно искажает в их

толще характер распределения температуры. Это приводит к появлению двумерных и трёхмерных температурных полей.

Общая часть

Линейные теплотехнические неоднородности неизбежно появляются в ограждениях различных типов: наружные стены каркасных домов, наружные стены каркасных железобетонных зданий, ряды перемычек над окнами и дверьми, балки чердачных утеплённых перекрытий, деревянные лаги в конструкции пола с утеплением.

Принимая разбиение материальной части ограждения на десять частей по толщине и 2–3 калибра наиболее теплопроводной части (20–30 участков разбиения), можно составить следующее выражение для определения температуры в узле сетки, изображённой на рисунке 2:

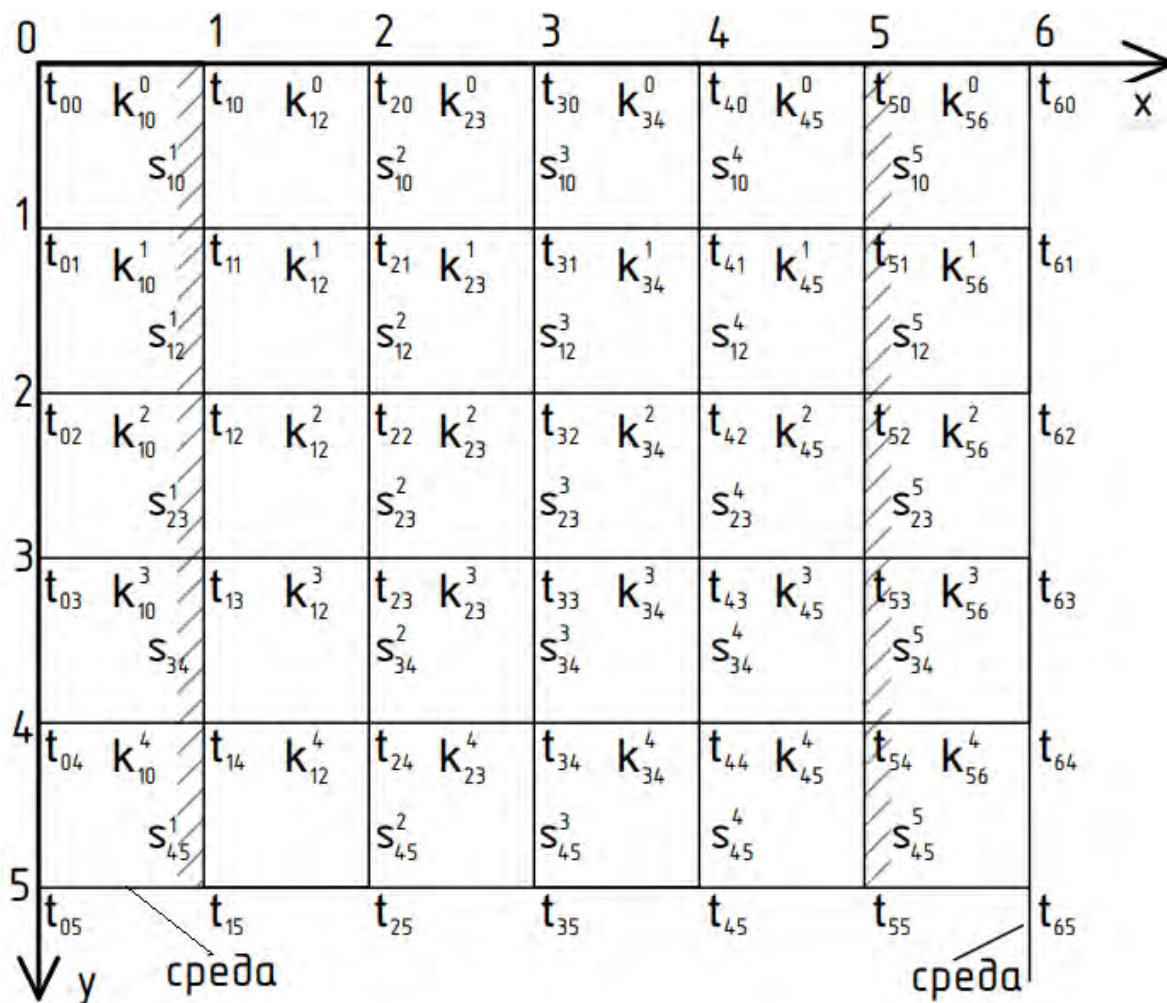


Рисунок 2 – Конечно-разностная сеть участка ограждения с одной плоскостью симметрии

Уравнение с учётом преобразований может быть представлено в следующем виде для ограждения без выступающих элементов и углов:

$$K_{i,j}^j t_{i-1,j} - (K_{i,j}^j + K_{i,j+1}^j + S_{j-1,j}^i + S_{j,j+1}^i) t_{i,j} + (K_{i,j+1}^j + S_{i,j+1}^i) t_{i+1,j} = -(S_{j,j-1}^i t_{i,j-1} + S_{j,j+1}^i t_{i,j+1}), \quad (1)$$

При помощи изложенного выше подхода расчёта двумерного температурного поля были получены значения величин температур на узлах сетки для

наружных ограждений. Используя полученные результаты, были построены изотермы +8 °С, +10 °С, +12 °С, местоположение которых в толще ограждающих конструкций может быть использовано для определения точек росы в местах нахождения теплопроводных включений. В таблице 1 представлены мозаики температур температурных полей и построенные изотермы.

Таблица 1 – Результаты вычисления величин температур двумерного температурного поля

Наименование теплотехнической неоднородности	Мозаика температур	Изотермы +8 °С, +10 °С, +12 °С																																																																																																																																																																																																																																																													
<p>Теплопроводное включение $\lambda = 0,18 \text{ Вт/(мС)}$ и утеплитель $\lambda = 0,037 \text{ Вт/(мС)}$, толщина ограждения 15 см</p>	<table border="1"> <tr><td>16.6</td><td>11.5</td><td>6.7</td><td>2.0</td><td>-2.8</td><td>-7.5</td><td>-12.3</td><td>-17.1</td><td>-21.8</td><td>-26.6</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.6</td><td>11.7</td><td>6.9</td><td>2.1</td><td>-2.7</td><td>-7.5</td><td>-12.3</td><td>-17.1</td><td>-21.9</td><td>-26.7</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.5</td><td>11.7</td><td>6.8</td><td>2.0</td><td>-2.8</td><td>-7.6</td><td>-12.4</td><td>-17.2</td><td>-22.0</td><td>-26.7</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.5</td><td>11.5</td><td>6.6</td><td>1.8</td><td>-3.0</td><td>-7.8</td><td>-12.5</td><td>-17.2</td><td>-22.0</td><td>-26.7</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.5</td><td>11.4</td><td>6.4</td><td>1.6</td><td>-3.2</td><td>-7.9</td><td>-12.6</td><td>-17.3</td><td>-22.1</td><td>-26.7</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.4</td><td>11.1</td><td>6.1</td><td>1.3</td><td>-3.5</td><td>-8.1</td><td>-12.8</td><td>-17.4</td><td>-22.1</td><td>-26.7</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.2</td><td>10.6</td><td>5.5</td><td>0.8</td><td>-3.9</td><td>-8.4</td><td>-12.9</td><td>-17.5</td><td>-22.1</td><td>-26.7</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>15.5</td><td>9.5</td><td>4.6</td><td>0.0</td><td>-4.4</td><td>-8.8</td><td>-13.2</td><td>-17.6</td><td>-22.1</td><td>-26.6</td><td>-31.4</td></tr> <tr><td>12.3</td><td>7.4</td><td>3.2</td><td>-0.9</td><td>-5.1</td><td>-9.3</td><td>-13.5</td><td>-17.7</td><td>-21.9</td><td>-26.2</td><td>-30.5</td></tr> <tr><td>10.4</td><td>6.6</td><td>2.8</td><td>-1.1</td><td>-5.2</td><td>-9.3</td><td>-13.5</td><td>-17.7</td><td>-21.9</td><td>-26.1</td><td>-30.1</td></tr> <tr><td>10.4</td><td>6.5</td><td>2.7</td><td>-1.2</td><td>-5.3</td><td>-9.4</td><td>-13.5</td><td>-17.7</td><td>-21.9</td><td>-26.0</td><td>-30.1</td></tr> <tr><td>10.5</td><td>6.5</td><td>2.4</td><td>-1.4</td><td>-5.3</td><td>-9.4</td><td>-13.5</td><td>-17.7</td><td>-21.8</td><td>-26.0</td><td>-30.0</td></tr> <tr><td>10.4</td><td>6.5</td><td>2.7</td><td>-1.2</td><td>-5.3</td><td>-9.4</td><td>-13.5</td><td>-17.7</td><td>-21.9</td><td>-26.0</td><td>-30.1</td></tr> <tr><td>10.4</td><td>6.6</td><td>2.8</td><td>-1.1</td><td>-5.2</td><td>-9.3</td><td>-13.5</td><td>-17.7</td><td>-21.9</td><td>-26.1</td><td>-30.1</td></tr> <tr><td>12.3</td><td>7.4</td><td>3.2</td><td>-0.9</td><td>-5.1</td><td>-9.3</td><td>-13.5</td><td>-17.7</td><td>-21.9</td><td>-26.2</td><td>-30.5</td></tr> <tr><td>15.5</td><td>9.5</td><td>4.6</td><td>0.0</td><td>-4.4</td><td>-8.8</td><td>-13.2</td><td>-17.6</td><td>-22.1</td><td>-26.6</td><td>-31.4</td></tr> <tr><td>16.2</td><td>10.6</td><td>5.5</td><td>0.8</td><td>-3.9</td><td>-8.4</td><td>-12.9</td><td>-17.5</td><td>-22.1</td><td>-26.7</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.4</td><td>11.1</td><td>6.1</td><td>1.3</td><td>-3.5</td><td>-8.1</td><td>-12.8</td><td>-17.4</td><td>-22.1</td><td>-26.7</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.5</td><td>11.4</td><td>6.4</td><td>1.6</td><td>-3.2</td><td>-7.9</td><td>-12.6</td><td>-17.3</td><td>-22.1</td><td>-26.7</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.5</td><td>11.5</td><td>6.6</td><td>1.8</td><td>-3.0</td><td>-7.8</td><td>-12.5</td><td>-17.2</td><td>-22.0</td><td>-26.7</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.5</td><td>11.7</td><td>6.8</td><td>2.0</td><td>-2.8</td><td>-7.6</td><td>-12.4</td><td>-17.2</td><td>-22.0</td><td>-26.7</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.6</td><td>11.7</td><td>6.9</td><td>2.1</td><td>-2.7</td><td>-7.5</td><td>-12.3</td><td>-17.1</td><td>-21.9</td><td>-26.7</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.6</td><td>11.5</td><td>6.7</td><td>2.0</td><td>-2.8</td><td>-7.5</td><td>-12.3</td><td>-17.1</td><td>-21.8</td><td>-26.6</td><td>-31.5</td></tr> </table>	16.6	11.5	6.7	2.0	-2.8	-7.5	-12.3	-17.1	-21.8	-26.6	-31.5	16.6	11.7	6.9	2.1	-2.7	-7.5	-12.3	-17.1	-21.9	-26.7	-31.5	16.5	11.7	6.8	2.0	-2.8	-7.6	-12.4	-17.2	-22.0	-26.7	-31.5	16.5	11.5	6.6	1.8	-3.0	-7.8	-12.5	-17.2	-22.0	-26.7	-31.5	16.5	11.4	6.4	1.6	-3.2	-7.9	-12.6	-17.3	-22.1	-26.7	-31.5	16.4	11.1	6.1	1.3	-3.5	-8.1	-12.8	-17.4	-22.1	-26.7	-31.5	16.2	10.6	5.5	0.8	-3.9	-8.4	-12.9	-17.5	-22.1	-26.7	-31.5	15.5	9.5	4.6	0.0	-4.4	-8.8	-13.2	-17.6	-22.1	-26.6	-31.4	12.3	7.4	3.2	-0.9	-5.1	-9.3	-13.5	-17.7	-21.9	-26.2	-30.5	10.4	6.6	2.8	-1.1	-5.2	-9.3	-13.5	-17.7	-21.9	-26.1	-30.1	10.4	6.5	2.7	-1.2	-5.3	-9.4	-13.5	-17.7	-21.9	-26.0	-30.1	10.5	6.5	2.4	-1.4	-5.3	-9.4	-13.5	-17.7	-21.8	-26.0	-30.0	10.4	6.5	2.7	-1.2	-5.3	-9.4	-13.5	-17.7	-21.9	-26.0	-30.1	10.4	6.6	2.8	-1.1	-5.2	-9.3	-13.5	-17.7	-21.9	-26.1	-30.1	12.3	7.4	3.2	-0.9	-5.1	-9.3	-13.5	-17.7	-21.9	-26.2	-30.5	15.5	9.5	4.6	0.0	-4.4	-8.8	-13.2	-17.6	-22.1	-26.6	-31.4	16.2	10.6	5.5	0.8	-3.9	-8.4	-12.9	-17.5	-22.1	-26.7	-31.5	16.4	11.1	6.1	1.3	-3.5	-8.1	-12.8	-17.4	-22.1	-26.7	-31.5	16.5	11.4	6.4	1.6	-3.2	-7.9	-12.6	-17.3	-22.1	-26.7	-31.5	16.5	11.5	6.6	1.8	-3.0	-7.8	-12.5	-17.2	-22.0	-26.7	-31.5	16.5	11.7	6.8	2.0	-2.8	-7.6	-12.4	-17.2	-22.0	-26.7	-31.5	16.6	11.7	6.9	2.1	-2.7	-7.5	-12.3	-17.1	-21.9	-26.7	-31.5	16.6	11.5	6.7	2.0	-2.8	-7.5	-12.3	-17.1	-21.8	-26.6	-31.5	
16.6	11.5	6.7	2.0	-2.8	-7.5	-12.3	-17.1	-21.8	-26.6	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.6	11.7	6.9	2.1	-2.7	-7.5	-12.3	-17.1	-21.9	-26.7	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.5	11.7	6.8	2.0	-2.8	-7.6	-12.4	-17.2	-22.0	-26.7	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.5	11.5	6.6	1.8	-3.0	-7.8	-12.5	-17.2	-22.0	-26.7	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.5	11.4	6.4	1.6	-3.2	-7.9	-12.6	-17.3	-22.1	-26.7	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.4	11.1	6.1	1.3	-3.5	-8.1	-12.8	-17.4	-22.1	-26.7	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.2	10.6	5.5	0.8	-3.9	-8.4	-12.9	-17.5	-22.1	-26.7	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
15.5	9.5	4.6	0.0	-4.4	-8.8	-13.2	-17.6	-22.1	-26.6	-31.4																																																																																																																																																																																																																																																					
12.3	7.4	3.2	-0.9	-5.1	-9.3	-13.5	-17.7	-21.9	-26.2	-30.5																																																																																																																																																																																																																																																					
10.4	6.6	2.8	-1.1	-5.2	-9.3	-13.5	-17.7	-21.9	-26.1	-30.1																																																																																																																																																																																																																																																					
10.4	6.5	2.7	-1.2	-5.3	-9.4	-13.5	-17.7	-21.9	-26.0	-30.1																																																																																																																																																																																																																																																					
10.5	6.5	2.4	-1.4	-5.3	-9.4	-13.5	-17.7	-21.8	-26.0	-30.0																																																																																																																																																																																																																																																					
10.4	6.5	2.7	-1.2	-5.3	-9.4	-13.5	-17.7	-21.9	-26.0	-30.1																																																																																																																																																																																																																																																					
10.4	6.6	2.8	-1.1	-5.2	-9.3	-13.5	-17.7	-21.9	-26.1	-30.1																																																																																																																																																																																																																																																					
12.3	7.4	3.2	-0.9	-5.1	-9.3	-13.5	-17.7	-21.9	-26.2	-30.5																																																																																																																																																																																																																																																					
15.5	9.5	4.6	0.0	-4.4	-8.8	-13.2	-17.6	-22.1	-26.6	-31.4																																																																																																																																																																																																																																																					
16.2	10.6	5.5	0.8	-3.9	-8.4	-12.9	-17.5	-22.1	-26.7	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.4	11.1	6.1	1.3	-3.5	-8.1	-12.8	-17.4	-22.1	-26.7	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.5	11.4	6.4	1.6	-3.2	-7.9	-12.6	-17.3	-22.1	-26.7	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.5	11.5	6.6	1.8	-3.0	-7.8	-12.5	-17.2	-22.0	-26.7	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.5	11.7	6.8	2.0	-2.8	-7.6	-12.4	-17.2	-22.0	-26.7	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.6	11.7	6.9	2.1	-2.7	-7.5	-12.3	-17.1	-21.9	-26.7	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.6	11.5	6.7	2.0	-2.8	-7.5	-12.3	-17.1	-21.8	-26.6	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
<p>Теплопроводное включение $\lambda = 0,18 \text{ Вт/(мС)}$ и утеплитель $\lambda = 0,064 \text{ Вт/(мС)}$, толщина ограждения 15 см</p>	<table border="1"> <tr><td>15.6</td><td>10.9</td><td>6.2</td><td>1.5</td><td>-3.2</td><td>-7.9</td><td>-12.5</td><td>-17.2</td><td>-21.8</td><td>-26.5</td><td>-31.1</td></tr> <tr><td>15.5</td><td>10.8</td><td>6.1</td><td>1.3</td><td>-3.3</td><td>-8.0</td><td>-12.6</td><td>-17.3</td><td>-21.9</td><td>-26.5</td><td>-31.2</td></tr> <tr><td>15.4</td><td>10.6</td><td>5.9</td><td>1.2</td><td>-3.5</td><td>-8.2</td><td>-12.8</td><td>-17.4</td><td>-22.0</td><td>-26.6</td><td>-31.2</td></tr> <tr><td>15.3</td><td>10.5</td><td>5.7</td><td>1.0</td><td>-3.7</td><td>-8.4</td><td>-12.9</td><td>-17.6</td><td>-22.1</td><td>-26.6</td><td>-31.2</td></tr> <tr><td>15.3</td><td>10.3</td><td>5.4</td><td>0.7</td><td>-4.0</td><td>-8.6</td><td>-13.2</td><td>-17.8</td><td>-22.3</td><td>-26.7</td><td>-31.2</td></tr> <tr><td>15.0</td><td>9.8</td><td>4.9</td><td>0.2</td><td>-4.4</td><td>-9.0</td><td>-13.5</td><td>-18.0</td><td>-22.5</td><td>-26.8</td><td>-31.2</td></tr> <tr><td>14.4</td><td>9.0</td><td>4.2</td><td>-0.4</td><td>-4.9</td><td>-9.5</td><td>-14.0</td><td>-18.5</td><td>-22.8</td><td>-27.0</td><td>-31.2</td></tr> <tr><td>12.3</td><td>7.6</td><td>3.2</td><td>-1.2</td><td>-5.6</td><td>-10.2</td><td>-14.7</td><td>-19.1</td><td>-23.3</td><td>-27.1</td><td>-30.7</td></tr> <tr><td>10.7</td><td>6.9</td><td>2.9</td><td>-1.4</td><td>-5.8</td><td>-10.4</td><td>-15.0</td><td>-19.4</td><td>-23.6</td><td>-27.3</td><td>-30.5</td></tr> <tr><td>10.6</td><td>6.9</td><td>2.9</td><td>-1.4</td><td>-6.0</td><td>-10.7</td><td>-15.5</td><td>-20.1</td><td>-24.5</td><td>-28.1</td><td>-30.8</td></tr> <tr><td>10.7</td><td>6.7</td><td>2.5</td><td>-1.6</td><td>-6.1</td><td>-10.7</td><td>-15.4</td><td>-19.9</td><td>-24.1</td><td>-27.8</td><td>-30.6</td></tr> <tr><td>10.6</td><td>6.9</td><td>2.9</td><td>-1.4</td><td>-6.0</td><td>-10.7</td><td>-15.5</td><td>-20.1</td><td>-24.5</td><td>-28.1</td><td>-30.8</td></tr> <tr><td>10.7</td><td>6.9</td><td>2.9</td><td>-1.4</td><td>-5.8</td><td>-10.4</td><td>-15.0</td><td>-19.4</td><td>-23.6</td><td>-27.3</td><td>-30.5</td></tr> <tr><td>12.3</td><td>7.6</td><td>3.2</td><td>-1.2</td><td>-5.6</td><td>-10.2</td><td>-14.7</td><td>-19.1</td><td>-23.3</td><td>-27.1</td><td>-30.7</td></tr> <tr><td>14.4</td><td>9.0</td><td>4.2</td><td>-0.4</td><td>-4.9</td><td>-9.5</td><td>-14.0</td><td>-18.5</td><td>-22.8</td><td>-27.0</td><td>-31.2</td></tr> <tr><td>15.0</td><td>9.8</td><td>4.9</td><td>0.2</td><td>-4.4</td><td>-9.0</td><td>-13.5</td><td>-18.0</td><td>-22.5</td><td>-26.8</td><td>-31.2</td></tr> <tr><td>15.3</td><td>10.3</td><td>5.4</td><td>0.7</td><td>-4.0</td><td>-8.6</td><td>-13.2</td><td>-17.8</td><td>-22.3</td><td>-26.7</td><td>-31.2</td></tr> <tr><td>15.3</td><td>10.5</td><td>5.7</td><td>1.0</td><td>-3.7</td><td>-8.4</td><td>-12.9</td><td>-17.6</td><td>-22.1</td><td>-26.6</td><td>-31.2</td></tr> <tr><td>15.4</td><td>10.6</td><td>5.9</td><td>1.2</td><td>-3.5</td><td>-8.2</td><td>-12.8</td><td>-17.4</td><td>-22.0</td><td>-26.6</td><td>-31.2</td></tr> <tr><td>15.5</td><td>10.8</td><td>6.1</td><td>1.3</td><td>-3.3</td><td>-8.0</td><td>-12.6</td><td>-17.3</td><td>-21.9</td><td>-26.5</td><td>-31.2</td></tr> <tr><td>15.6</td><td>10.9</td><td>6.2</td><td>1.5</td><td>-3.2</td><td>-7.9</td><td>-12.5</td><td>-17.2</td><td>-21.8</td><td>-26.5</td><td>-31.1</td></tr> </table>	15.6	10.9	6.2	1.5	-3.2	-7.9	-12.5	-17.2	-21.8	-26.5	-31.1	15.5	10.8	6.1	1.3	-3.3	-8.0	-12.6	-17.3	-21.9	-26.5	-31.2	15.4	10.6	5.9	1.2	-3.5	-8.2	-12.8	-17.4	-22.0	-26.6	-31.2	15.3	10.5	5.7	1.0	-3.7	-8.4	-12.9	-17.6	-22.1	-26.6	-31.2	15.3	10.3	5.4	0.7	-4.0	-8.6	-13.2	-17.8	-22.3	-26.7	-31.2	15.0	9.8	4.9	0.2	-4.4	-9.0	-13.5	-18.0	-22.5	-26.8	-31.2	14.4	9.0	4.2	-0.4	-4.9	-9.5	-14.0	-18.5	-22.8	-27.0	-31.2	12.3	7.6	3.2	-1.2	-5.6	-10.2	-14.7	-19.1	-23.3	-27.1	-30.7	10.7	6.9	2.9	-1.4	-5.8	-10.4	-15.0	-19.4	-23.6	-27.3	-30.5	10.6	6.9	2.9	-1.4	-6.0	-10.7	-15.5	-20.1	-24.5	-28.1	-30.8	10.7	6.7	2.5	-1.6	-6.1	-10.7	-15.4	-19.9	-24.1	-27.8	-30.6	10.6	6.9	2.9	-1.4	-6.0	-10.7	-15.5	-20.1	-24.5	-28.1	-30.8	10.7	6.9	2.9	-1.4	-5.8	-10.4	-15.0	-19.4	-23.6	-27.3	-30.5	12.3	7.6	3.2	-1.2	-5.6	-10.2	-14.7	-19.1	-23.3	-27.1	-30.7	14.4	9.0	4.2	-0.4	-4.9	-9.5	-14.0	-18.5	-22.8	-27.0	-31.2	15.0	9.8	4.9	0.2	-4.4	-9.0	-13.5	-18.0	-22.5	-26.8	-31.2	15.3	10.3	5.4	0.7	-4.0	-8.6	-13.2	-17.8	-22.3	-26.7	-31.2	15.3	10.5	5.7	1.0	-3.7	-8.4	-12.9	-17.6	-22.1	-26.6	-31.2	15.4	10.6	5.9	1.2	-3.5	-8.2	-12.8	-17.4	-22.0	-26.6	-31.2	15.5	10.8	6.1	1.3	-3.3	-8.0	-12.6	-17.3	-21.9	-26.5	-31.2	15.6	10.9	6.2	1.5	-3.2	-7.9	-12.5	-17.2	-21.8	-26.5	-31.1																							
15.6	10.9	6.2	1.5	-3.2	-7.9	-12.5	-17.2	-21.8	-26.5	-31.1																																																																																																																																																																																																																																																					
15.5	10.8	6.1	1.3	-3.3	-8.0	-12.6	-17.3	-21.9	-26.5	-31.2																																																																																																																																																																																																																																																					
15.4	10.6	5.9	1.2	-3.5	-8.2	-12.8	-17.4	-22.0	-26.6	-31.2																																																																																																																																																																																																																																																					
15.3	10.5	5.7	1.0	-3.7	-8.4	-12.9	-17.6	-22.1	-26.6	-31.2																																																																																																																																																																																																																																																					
15.3	10.3	5.4	0.7	-4.0	-8.6	-13.2	-17.8	-22.3	-26.7	-31.2																																																																																																																																																																																																																																																					
15.0	9.8	4.9	0.2	-4.4	-9.0	-13.5	-18.0	-22.5	-26.8	-31.2																																																																																																																																																																																																																																																					
14.4	9.0	4.2	-0.4	-4.9	-9.5	-14.0	-18.5	-22.8	-27.0	-31.2																																																																																																																																																																																																																																																					
12.3	7.6	3.2	-1.2	-5.6	-10.2	-14.7	-19.1	-23.3	-27.1	-30.7																																																																																																																																																																																																																																																					
10.7	6.9	2.9	-1.4	-5.8	-10.4	-15.0	-19.4	-23.6	-27.3	-30.5																																																																																																																																																																																																																																																					
10.6	6.9	2.9	-1.4	-6.0	-10.7	-15.5	-20.1	-24.5	-28.1	-30.8																																																																																																																																																																																																																																																					
10.7	6.7	2.5	-1.6	-6.1	-10.7	-15.4	-19.9	-24.1	-27.8	-30.6																																																																																																																																																																																																																																																					
10.6	6.9	2.9	-1.4	-6.0	-10.7	-15.5	-20.1	-24.5	-28.1	-30.8																																																																																																																																																																																																																																																					
10.7	6.9	2.9	-1.4	-5.8	-10.4	-15.0	-19.4	-23.6	-27.3	-30.5																																																																																																																																																																																																																																																					
12.3	7.6	3.2	-1.2	-5.6	-10.2	-14.7	-19.1	-23.3	-27.1	-30.7																																																																																																																																																																																																																																																					
14.4	9.0	4.2	-0.4	-4.9	-9.5	-14.0	-18.5	-22.8	-27.0	-31.2																																																																																																																																																																																																																																																					
15.0	9.8	4.9	0.2	-4.4	-9.0	-13.5	-18.0	-22.5	-26.8	-31.2																																																																																																																																																																																																																																																					
15.3	10.3	5.4	0.7	-4.0	-8.6	-13.2	-17.8	-22.3	-26.7	-31.2																																																																																																																																																																																																																																																					
15.3	10.5	5.7	1.0	-3.7	-8.4	-12.9	-17.6	-22.1	-26.6	-31.2																																																																																																																																																																																																																																																					
15.4	10.6	5.9	1.2	-3.5	-8.2	-12.8	-17.4	-22.0	-26.6	-31.2																																																																																																																																																																																																																																																					
15.5	10.8	6.1	1.3	-3.3	-8.0	-12.6	-17.3	-21.9	-26.5	-31.2																																																																																																																																																																																																																																																					
15.6	10.9	6.2	1.5	-3.2	-7.9	-12.5	-17.2	-21.8	-26.5	-31.1																																																																																																																																																																																																																																																					
<p>Теплопроводное включение $\lambda = 0,18 \text{ Вт/(мС)}$ и утеплитель $\lambda = 0,037 \text{ Вт/(мС)}$, толщина ограждения 15 см</p>	<table border="1"> <tr><td>16.6</td><td>11.7</td><td>6.9</td><td>2.1</td><td>-2.6</td><td>-7.4</td><td>-12.2</td><td>-16.9</td><td>-21.8</td><td>-26.6</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.6</td><td>11.8</td><td>7.0</td><td>2.3</td><td>-2.5</td><td>-7.2</td><td>-12.0</td><td>-16.8</td><td>-21.7</td><td>-26.5</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.6</td><td>11.8</td><td>7.1</td><td>2.4</td><td>-2.3</td><td>-7.0</td><td>-11.8</td><td>-16.6</td><td>-21.5</td><td>-26.5</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.6</td><td>11.8</td><td>7.1</td><td>2.4</td><td>-2.1</td><td>-6.8</td><td>-11.5</td><td>-16.3</td><td>-21.3</td><td>-26.3</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.6</td><td>11.7</td><td>7.0</td><td>2.3</td><td>-1.8</td><td>-6.3</td><td>-11.0</td><td>-15.9</td><td>-21.0</td><td>-26.1</td><td>-31.4</td></tr> <tr><td>16.4</td><td>11.3</td><td>6.8</td><td>2.0</td><td>-1.4</td><td>-5.7</td><td>-10.3</td><td>-15.2</td><td>-20.5</td><td>-25.8</td><td>-31.4</td></tr> <tr><td>15.8</td><td>10.4</td><td>6.3</td><td>2.7</td><td>-0.6</td><td>-4.4</td><td>-9.2</td><td>-14.3</td><td>-19.7</td><td>-25.4</td><td>-31.4</td></tr> <tr><td>12.7</td><td>8.3</td><td>5.2</td><td>2.6</td><td>0.7</td><td>-2.1</td><td>-7.7</td><td>-12.9</td><td>-18.4</td><td>-24.5</td><td>-31.3</td></tr> <tr><td>10.6</td><td>7.2</td><td>4.6</td><td>2.2</td><td>1.1</td><td>-2.4</td><td>-6.6</td><td>-11.2</td><td>-16.5</td><td>-23.1</td><td>-31.1</td></tr> <tr><td>9.4</td><td>6.0</td><td>3.7</td><td>1.8</td><td>1.1</td><td>-1.8</td><td>-4.9</td><td>-8.6</td><td>-13.4</td><td>-20.3</td><td>-30.6</td></tr> <tr><td>6.7</td><td>3.6</td><td>2.1</td><td>0.9</td><td>0.4</td><td>-1.0</td><td>-2.7</td><td>-4.9</td><td>-8.1</td><td>-14.1</td><td>-27.8</td></tr> <tr><td>9.4</td><td>6.0</td><td>3.7</td><td>1.8</td><td>1.1</td><td>-1.8</td><td>-4.9</td><td>-8.6</td><td>-13.4</td><td>-20.3</td><td>-30.6</td></tr> <tr><td>10.6</td><td>7.2</td><td>4.6</td><td>2.2</td><td>1.1</td><td>-2.4</td><td>-6.6</td><td>-11.2</td><td>-16.5</td><td>-23.1</td><td>-31.1</td></tr> <tr><td>12.7</td><td>8.3</td><td>5.2</td><td>2.6</td><td>0.7</td><td>-2.1</td><td>-7.7</td><td>-12.9</td><td>-18.4</td><td>-24.5</td><td>-31.3</td></tr> <tr><td>15.8</td><td>10.4</td><td>6.3</td><td>2.7</td><td>-0.6</td><td>-4.4</td><td>-9.2</td><td>-14.3</td><td>-19.7</td><td>-25.4</td><td>-31.4</td></tr> <tr><td>16.4</td><td>11.3</td><td>6.8</td><td>2.6</td><td>-1.4</td><td>-5.7</td><td>-10.3</td><td>-15.2</td><td>-20.5</td><td>-25.8</td><td>-31.4</td></tr> <tr><td>16.6</td><td>11.7</td><td>7.0</td><td>2.5</td><td>-1.8</td><td>-6.3</td><td>-11.0</td><td>-15.9</td><td>-21.0</td><td>-26.1</td><td>-31.4</td></tr> <tr><td>16.6</td><td>11.8</td><td>7.1</td><td>2.4</td><td>-2.1</td><td>-6.8</td><td>-11.5</td><td>-16.3</td><td>-21.3</td><td>-26.3</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.6</td><td>11.8</td><td>7.1</td><td>2.4</td><td>-2.3</td><td>-7.0</td><td>-11.8</td><td>-16.6</td><td>-21.5</td><td>-26.5</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.6</td><td>11.8</td><td>7.0</td><td>2.3</td><td>-2.5</td><td>-7.2</td><td>-12.0</td><td>-16.8</td><td>-21.7</td><td>-26.5</td><td>-31.5</td></tr> <tr><td>16.6</td><td>11.7</td><td>6.9</td><td>2.1</td><td>-2.6</td><td>-7.4</td><td>-12.2</td><td>-16.9</td><td>-21.8</td><td>-26.6</td><td>-31.5</td></tr> </table>	16.6	11.7	6.9	2.1	-2.6	-7.4	-12.2	-16.9	-21.8	-26.6	-31.5	16.6	11.8	7.0	2.3	-2.5	-7.2	-12.0	-16.8	-21.7	-26.5	-31.5	16.6	11.8	7.1	2.4	-2.3	-7.0	-11.8	-16.6	-21.5	-26.5	-31.5	16.6	11.8	7.1	2.4	-2.1	-6.8	-11.5	-16.3	-21.3	-26.3	-31.5	16.6	11.7	7.0	2.3	-1.8	-6.3	-11.0	-15.9	-21.0	-26.1	-31.4	16.4	11.3	6.8	2.0	-1.4	-5.7	-10.3	-15.2	-20.5	-25.8	-31.4	15.8	10.4	6.3	2.7	-0.6	-4.4	-9.2	-14.3	-19.7	-25.4	-31.4	12.7	8.3	5.2	2.6	0.7	-2.1	-7.7	-12.9	-18.4	-24.5	-31.3	10.6	7.2	4.6	2.2	1.1	-2.4	-6.6	-11.2	-16.5	-23.1	-31.1	9.4	6.0	3.7	1.8	1.1	-1.8	-4.9	-8.6	-13.4	-20.3	-30.6	6.7	3.6	2.1	0.9	0.4	-1.0	-2.7	-4.9	-8.1	-14.1	-27.8	9.4	6.0	3.7	1.8	1.1	-1.8	-4.9	-8.6	-13.4	-20.3	-30.6	10.6	7.2	4.6	2.2	1.1	-2.4	-6.6	-11.2	-16.5	-23.1	-31.1	12.7	8.3	5.2	2.6	0.7	-2.1	-7.7	-12.9	-18.4	-24.5	-31.3	15.8	10.4	6.3	2.7	-0.6	-4.4	-9.2	-14.3	-19.7	-25.4	-31.4	16.4	11.3	6.8	2.6	-1.4	-5.7	-10.3	-15.2	-20.5	-25.8	-31.4	16.6	11.7	7.0	2.5	-1.8	-6.3	-11.0	-15.9	-21.0	-26.1	-31.4	16.6	11.8	7.1	2.4	-2.1	-6.8	-11.5	-16.3	-21.3	-26.3	-31.5	16.6	11.8	7.1	2.4	-2.3	-7.0	-11.8	-16.6	-21.5	-26.5	-31.5	16.6	11.8	7.0	2.3	-2.5	-7.2	-12.0	-16.8	-21.7	-26.5	-31.5	16.6	11.7	6.9	2.1	-2.6	-7.4	-12.2	-16.9	-21.8	-26.6	-31.5																							
16.6	11.7	6.9	2.1	-2.6	-7.4	-12.2	-16.9	-21.8	-26.6	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.6	11.8	7.0	2.3	-2.5	-7.2	-12.0	-16.8	-21.7	-26.5	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.6	11.8	7.1	2.4	-2.3	-7.0	-11.8	-16.6	-21.5	-26.5	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.6	11.8	7.1	2.4	-2.1	-6.8	-11.5	-16.3	-21.3	-26.3	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.6	11.7	7.0	2.3	-1.8	-6.3	-11.0	-15.9	-21.0	-26.1	-31.4																																																																																																																																																																																																																																																					
16.4	11.3	6.8	2.0	-1.4	-5.7	-10.3	-15.2	-20.5	-25.8	-31.4																																																																																																																																																																																																																																																					
15.8	10.4	6.3	2.7	-0.6	-4.4	-9.2	-14.3	-19.7	-25.4	-31.4																																																																																																																																																																																																																																																					
12.7	8.3	5.2	2.6	0.7	-2.1	-7.7	-12.9	-18.4	-24.5	-31.3																																																																																																																																																																																																																																																					
10.6	7.2	4.6	2.2	1.1	-2.4	-6.6	-11.2	-16.5	-23.1	-31.1																																																																																																																																																																																																																																																					
9.4	6.0	3.7	1.8	1.1	-1.8	-4.9	-8.6	-13.4	-20.3	-30.6																																																																																																																																																																																																																																																					
6.7	3.6	2.1	0.9	0.4	-1.0	-2.7	-4.9	-8.1	-14.1	-27.8																																																																																																																																																																																																																																																					
9.4	6.0	3.7	1.8	1.1	-1.8	-4.9	-8.6	-13.4	-20.3	-30.6																																																																																																																																																																																																																																																					
10.6	7.2	4.6	2.2	1.1	-2.4	-6.6	-11.2	-16.5	-23.1	-31.1																																																																																																																																																																																																																																																					
12.7	8.3	5.2	2.6	0.7	-2.1	-7.7	-12.9	-18.4	-24.5	-31.3																																																																																																																																																																																																																																																					
15.8	10.4	6.3	2.7	-0.6	-4.4	-9.2	-14.3	-19.7	-25.4	-31.4																																																																																																																																																																																																																																																					
16.4	11.3	6.8	2.6	-1.4	-5.7	-10.3	-15.2	-20.5	-25.8	-31.4																																																																																																																																																																																																																																																					
16.6	11.7	7.0	2.5	-1.8	-6.3	-11.0	-15.9	-21.0	-26.1	-31.4																																																																																																																																																																																																																																																					
16.6	11.8	7.1	2.4	-2.1	-6.8	-11.5	-16.3	-21.3	-26.3	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.6	11.8	7.1	2.4	-2.3	-7.0	-11.8	-16.6	-21.5	-26.5	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.6	11.8	7.0	2.3	-2.5	-7.2	-12.0	-16.8	-21.7	-26.5	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					
16.6	11.7	6.9	2.1	-2.6	-7.4	-12.2	-16.9	-21.8	-26.6	-31.5																																																																																																																																																																																																																																																					

Продолжение таблицы 1

<p>Теплопроводное включение $\lambda = 0,18 \text{ Вт/(мС)}$ и утеплитель $\lambda = 0,064 \text{ Вт/(мС)}$, толщина ограждения 15 см</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>16,4</td><td>11,4</td><td>6,6</td><td>1,9</td><td>-2,8</td><td>-7,5</td><td>-12,3</td><td>-17,0</td><td>-21,8</td><td>-26,5</td><td>-31,4</td></tr> <tr><td>16,6</td><td>11,6</td><td>6,8</td><td>2,1</td><td>-2,6</td><td>-7,3</td><td>-12,1</td><td>-16,9</td><td>-21,7</td><td>-26,6</td><td>-31,5</td></tr> <tr><td>16,6</td><td>11,8</td><td>7,0</td><td>2,3</td><td>-2,4</td><td>-7,1</td><td>-11,9</td><td>-16,7</td><td>-21,6</td><td>-26,5</td><td>-31,5</td></tr> <tr><td>16,6</td><td>11,8</td><td>7,1</td><td>2,4</td><td>-2,2</td><td>-6,9</td><td>-11,7</td><td>-16,5</td><td>-21,5</td><td>-26,4</td><td>-31,5</td></tr> <tr><td>16,6</td><td>11,8</td><td>7,2</td><td>2,7</td><td>-1,8</td><td>-6,5</td><td>-11,3</td><td>-16,2</td><td>-21,3</td><td>-26,3</td><td>-31,5</td></tr> <tr><td>16,5</td><td>11,7</td><td>7,2</td><td>3,0</td><td>-1,2</td><td>-5,8</td><td>-10,7</td><td>-15,8</td><td>-21,0</td><td>-26,2</td><td>-31,4</td></tr> <tr><td>16,1</td><td>11,2</td><td>7,2</td><td>3,4</td><td>-0,3</td><td>-4,5</td><td>-9,6</td><td>-15,3</td><td>-20,7</td><td>-26,1</td><td>-31,4</td></tr> <tr><td>13,8</td><td>10,1</td><td>7,0</td><td>3,9</td><td>1,3</td><td>-2,0</td><td>-8,7</td><td>-14,6</td><td>-20,3</td><td>-25,9</td><td>-31,4</td></tr> <tr><td>12,1</td><td>9,5</td><td>6,9</td><td>3,8</td><td>2,2</td><td>-2,7</td><td>-8,4</td><td>-14,3</td><td>-20,0</td><td>-25,7</td><td>-31,4</td></tr> <tr><td>12,3</td><td>9,9</td><td>7,2</td><td>4,1</td><td>2,6</td><td>-1,9</td><td>-7,8</td><td>-13,9</td><td>-19,8</td><td>-25,6</td><td>-31,4</td></tr> <tr><td>12,7</td><td>9,9</td><td>7,0</td><td>4,6</td><td>2,5</td><td>0,1</td><td>-7,3</td><td>-13,6</td><td>-19,7</td><td>-25,6</td><td>-31,4</td></tr> <tr><td>12,3</td><td>9,9</td><td>7,2</td><td>4,1</td><td>2,6</td><td>-1,9</td><td>-7,8</td><td>-13,9</td><td>-19,8</td><td>-25,6</td><td>-31,4</td></tr> <tr><td>12,1</td><td>9,5</td><td>6,9</td><td>3,8</td><td>2,2</td><td>-2,7</td><td>-8,4</td><td>-14,3</td><td>-20,0</td><td>-25,7</td><td>-31,4</td></tr> <tr><td>13,8</td><td>10,1</td><td>7,0</td><td>3,9</td><td>1,3</td><td>-2,0</td><td>-8,7</td><td>-14,6</td><td>-20,3</td><td>-25,9</td><td>-31,4</td></tr> <tr><td>16,1</td><td>11,2</td><td>7,2</td><td>3,4</td><td>-0,3</td><td>-4,5</td><td>-9,6</td><td>-15,3</td><td>-20,7</td><td>-26,1</td><td>-31,4</td></tr> <tr><td>16,5</td><td>11,7</td><td>7,2</td><td>3,0</td><td>-1,2</td><td>-5,8</td><td>-10,7</td><td>-15,8</td><td>-21,0</td><td>-26,2</td><td>-31,4</td></tr> <tr><td>16,6</td><td>11,8</td><td>7,2</td><td>2,7</td><td>-1,8</td><td>-6,5</td><td>-11,3</td><td>-16,2</td><td>-21,3</td><td>-26,3</td><td>-31,5</td></tr> <tr><td>16,6</td><td>11,8</td><td>7,1</td><td>2,4</td><td>-2,2</td><td>-6,9</td><td>-11,7</td><td>-16,5</td><td>-21,5</td><td>-26,4</td><td>-31,5</td></tr> <tr><td>16,6</td><td>11,8</td><td>7,0</td><td>2,3</td><td>-2,4</td><td>-7,1</td><td>-11,9</td><td>-16,7</td><td>-21,6</td><td>-26,5</td><td>-31,5</td></tr> <tr><td>16,6</td><td>11,6</td><td>6,8</td><td>2,1</td><td>-2,6</td><td>-7,3</td><td>-12,1</td><td>-16,9</td><td>-21,7</td><td>-26,6</td><td>-31,5</td></tr> <tr><td>16,4</td><td>11,4</td><td>6,6</td><td>1,9</td><td>-2,8</td><td>-7,5</td><td>-12,3</td><td>-17,0</td><td>-21,8</td><td>-26,5</td><td>-31,4</td></tr> </tbody> </table>	16,4	11,4	6,6	1,9	-2,8	-7,5	-12,3	-17,0	-21,8	-26,5	-31,4	16,6	11,6	6,8	2,1	-2,6	-7,3	-12,1	-16,9	-21,7	-26,6	-31,5	16,6	11,8	7,0	2,3	-2,4	-7,1	-11,9	-16,7	-21,6	-26,5	-31,5	16,6	11,8	7,1	2,4	-2,2	-6,9	-11,7	-16,5	-21,5	-26,4	-31,5	16,6	11,8	7,2	2,7	-1,8	-6,5	-11,3	-16,2	-21,3	-26,3	-31,5	16,5	11,7	7,2	3,0	-1,2	-5,8	-10,7	-15,8	-21,0	-26,2	-31,4	16,1	11,2	7,2	3,4	-0,3	-4,5	-9,6	-15,3	-20,7	-26,1	-31,4	13,8	10,1	7,0	3,9	1,3	-2,0	-8,7	-14,6	-20,3	-25,9	-31,4	12,1	9,5	6,9	3,8	2,2	-2,7	-8,4	-14,3	-20,0	-25,7	-31,4	12,3	9,9	7,2	4,1	2,6	-1,9	-7,8	-13,9	-19,8	-25,6	-31,4	12,7	9,9	7,0	4,6	2,5	0,1	-7,3	-13,6	-19,7	-25,6	-31,4	12,3	9,9	7,2	4,1	2,6	-1,9	-7,8	-13,9	-19,8	-25,6	-31,4	12,1	9,5	6,9	3,8	2,2	-2,7	-8,4	-14,3	-20,0	-25,7	-31,4	13,8	10,1	7,0	3,9	1,3	-2,0	-8,7	-14,6	-20,3	-25,9	-31,4	16,1	11,2	7,2	3,4	-0,3	-4,5	-9,6	-15,3	-20,7	-26,1	-31,4	16,5	11,7	7,2	3,0	-1,2	-5,8	-10,7	-15,8	-21,0	-26,2	-31,4	16,6	11,8	7,2	2,7	-1,8	-6,5	-11,3	-16,2	-21,3	-26,3	-31,5	16,6	11,8	7,1	2,4	-2,2	-6,9	-11,7	-16,5	-21,5	-26,4	-31,5	16,6	11,8	7,0	2,3	-2,4	-7,1	-11,9	-16,7	-21,6	-26,5	-31,5	16,6	11,6	6,8	2,1	-2,6	-7,3	-12,1	-16,9	-21,7	-26,6	-31,5	16,4	11,4	6,6	1,9	-2,8	-7,5	-12,3	-17,0	-21,8	-26,5	-31,4																																																																																																																																																																						
16,4	11,4	6,6	1,9	-2,8	-7,5	-12,3	-17,0	-21,8	-26,5	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,6	11,6	6,8	2,1	-2,6	-7,3	-12,1	-16,9	-21,7	-26,6	-31,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,6	11,8	7,0	2,3	-2,4	-7,1	-11,9	-16,7	-21,6	-26,5	-31,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,6	11,8	7,1	2,4	-2,2	-6,9	-11,7	-16,5	-21,5	-26,4	-31,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,6	11,8	7,2	2,7	-1,8	-6,5	-11,3	-16,2	-21,3	-26,3	-31,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,5	11,7	7,2	3,0	-1,2	-5,8	-10,7	-15,8	-21,0	-26,2	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,1	11,2	7,2	3,4	-0,3	-4,5	-9,6	-15,3	-20,7	-26,1	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
13,8	10,1	7,0	3,9	1,3	-2,0	-8,7	-14,6	-20,3	-25,9	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
12,1	9,5	6,9	3,8	2,2	-2,7	-8,4	-14,3	-20,0	-25,7	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
12,3	9,9	7,2	4,1	2,6	-1,9	-7,8	-13,9	-19,8	-25,6	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
12,7	9,9	7,0	4,6	2,5	0,1	-7,3	-13,6	-19,7	-25,6	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
12,3	9,9	7,2	4,1	2,6	-1,9	-7,8	-13,9	-19,8	-25,6	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
12,1	9,5	6,9	3,8	2,2	-2,7	-8,4	-14,3	-20,0	-25,7	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
13,8	10,1	7,0	3,9	1,3	-2,0	-8,7	-14,6	-20,3	-25,9	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,1	11,2	7,2	3,4	-0,3	-4,5	-9,6	-15,3	-20,7	-26,1	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,5	11,7	7,2	3,0	-1,2	-5,8	-10,7	-15,8	-21,0	-26,2	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,6	11,8	7,2	2,7	-1,8	-6,5	-11,3	-16,2	-21,3	-26,3	-31,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,6	11,8	7,1	2,4	-2,2	-6,9	-11,7	-16,5	-21,5	-26,4	-31,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,6	11,8	7,0	2,3	-2,4	-7,1	-11,9	-16,7	-21,6	-26,5	-31,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,6	11,6	6,8	2,1	-2,6	-7,3	-12,1	-16,9	-21,7	-26,6	-31,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
16,4	11,4	6,6	1,9	-2,8	-7,5	-12,3	-17,0	-21,8	-26,5	-31,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
<p>Теплопроводное включение $\lambda = 0,18 \text{ Вт/(мС)}$ и утеплитель $\lambda = 0,064 \text{ Вт/(мС)}$, толщина ограждения 40 см</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>12,2</td><td>8,0</td><td>3,9</td><td>-0,3</td><td>-4,5</td><td>-8,7</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,6</td><td>-29,8</td></tr> <tr><td>11,9</td><td>7,8</td><td>3,8</td><td>-0,4</td><td>-4,6</td><td>-8,8</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,6</td><td>-29,8</td></tr> <tr><td>11,7</td><td>7,7</td><td>3,7</td><td>-0,4</td><td>-4,6</td><td>-8,8</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,6</td><td>-29,8</td></tr> <tr><td>11,7</td><td>7,7</td><td>3,6</td><td>-0,5</td><td>-4,6</td><td>-8,8</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,7</td><td>7,7</td><td>3,6</td><td>-0,5</td><td>-4,7</td><td>-8,8</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,7</td><td>7,6</td><td>3,6</td><td>-0,6</td><td>-4,7</td><td>-8,9</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,6</td><td>7,6</td><td>3,5</td><td>-0,6</td><td>-4,8</td><td>-8,9</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,6</td><td>7,5</td><td>3,4</td><td>-0,7</td><td>-4,9</td><td>-9,0</td><td>-13,1</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,5</td><td>7,3</td><td>3,2</td><td>-0,9</td><td>-5,0</td><td>-9,1</td><td>-13,1</td><td>-17,2</td><td>-21,3</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,3</td><td>7,0</td><td>2,9</td><td>-1,2</td><td>-5,2</td><td>-9,2</td><td>-13,2</td><td>-17,2</td><td>-21,3</td><td>-25,3</td><td>-29,5</td></tr> <tr><td>11,0</td><td>6,6</td><td>2,4</td><td>-1,6</td><td>-5,5</td><td>-9,4</td><td>-13,2</td><td>-17,1</td><td>-21,1</td><td>-25,2</td><td>-29,5</td></tr> <tr><td>10,4</td><td>5,8</td><td>1,6</td><td>-2,2</td><td>-5,9</td><td>-9,6</td><td>-13,3</td><td>-17,0</td><td>-20,9</td><td>-24,9</td><td>-29,3</td></tr> <tr><td>9,2</td><td>4,4</td><td>0,5</td><td>-3,1</td><td>-6,5</td><td>-9,9</td><td>-13,3</td><td>-16,7</td><td>-20,5</td><td>-24,3</td><td>-28,9</td></tr> <tr><td>8,7</td><td>2,1</td><td>-1,3</td><td>-4,4</td><td>-7,4</td><td>-10,3</td><td>-13,2</td><td>-16,3</td><td>-19,4</td><td>-23,0</td><td>-27,6</td></tr> <tr><td>0,6</td><td>-1,6</td><td>-3,8</td><td>-6,1</td><td>-8,4</td><td>-10,8</td><td>-13,2</td><td>-15,7</td><td>-18,1</td><td>-20,5</td><td>-23,0</td></tr> <tr><td>0,1</td><td>-1,9</td><td>-3,9</td><td>-6,2</td><td>-8,5</td><td>-10,9</td><td>-13,2</td><td>-15,6</td><td>-18,0</td><td>-20,3</td><td>-22,4</td></tr> <tr><td>0,0</td><td>-1,9</td><td>-4,0</td><td>-6,2</td><td>-8,5</td><td>-10,9</td><td>-13,2</td><td>-15,6</td><td>-17,9</td><td>-20,2</td><td>-22,3</td></tr> <tr><td>-0,1</td><td>-2,0</td><td>-4,1</td><td>-6,3</td><td>-8,6</td><td>-10,9</td><td>-13,2</td><td>-15,6</td><td>-17,9</td><td>-20,1</td><td>-22,1</td></tr> <tr><td>0,0</td><td>-1,9</td><td>-4,0</td><td>-6,2</td><td>-8,5</td><td>-10,9</td><td>-13,2</td><td>-15,6</td><td>-17,9</td><td>-20,2</td><td>-22,3</td></tr> <tr><td>0,1</td><td>-1,9</td><td>-3,9</td><td>-6,2</td><td>-8,5</td><td>-10,9</td><td>-13,2</td><td>-15,6</td><td>-18,0</td><td>-20,3</td><td>-22,4</td></tr> <tr><td>0,6</td><td>-1,6</td><td>-3,8</td><td>-6,1</td><td>-8,4</td><td>-10,8</td><td>-13,2</td><td>-15,7</td><td>-18,1</td><td>-20,5</td><td>-23,0</td></tr> <tr><td>8,7</td><td>2,1</td><td>-1,3</td><td>-4,4</td><td>-7,4</td><td>-10,3</td><td>-13,2</td><td>-16,3</td><td>-19,4</td><td>-23,0</td><td>-27,6</td></tr> <tr><td>9,2</td><td>4,4</td><td>0,5</td><td>-3,1</td><td>-6,5</td><td>-9,9</td><td>-13,3</td><td>-16,7</td><td>-20,5</td><td>-24,3</td><td>-28,9</td></tr> <tr><td>10,4</td><td>5,8</td><td>1,6</td><td>-2,2</td><td>-5,9</td><td>-9,6</td><td>-13,3</td><td>-17,0</td><td>-20,9</td><td>-24,9</td><td>-29,3</td></tr> <tr><td>11,0</td><td>6,6</td><td>2,4</td><td>-1,6</td><td>-5,5</td><td>-9,4</td><td>-13,2</td><td>-17,1</td><td>-21,1</td><td>-25,2</td><td>-29,5</td></tr> <tr><td>11,3</td><td>7,0</td><td>2,9</td><td>-1,2</td><td>-5,2</td><td>-9,2</td><td>-13,2</td><td>-17,2</td><td>-21,3</td><td>-25,3</td><td>-29,5</td></tr> <tr><td>11,5</td><td>7,3</td><td>3,2</td><td>-0,9</td><td>-5,0</td><td>-9,1</td><td>-13,1</td><td>-17,2</td><td>-21,3</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,6</td><td>7,5</td><td>3,4</td><td>-0,7</td><td>-4,9</td><td>-9,0</td><td>-13,1</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,6</td><td>7,6</td><td>3,5</td><td>-0,6</td><td>-4,8</td><td>-8,9</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,7</td><td>7,6</td><td>3,6</td><td>-0,6</td><td>-4,7</td><td>-8,9</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,7</td><td>7,7</td><td>3,6</td><td>-0,5</td><td>-4,7</td><td>-8,8</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,7</td><td>7,7</td><td>3,6</td><td>-0,5</td><td>-4,7</td><td>-8,8</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,7</td><td>7,7</td><td>3,6</td><td>-0,5</td><td>-4,6</td><td>-8,8</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,4</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>11,7</td><td>7,7</td><td>3,7</td><td>-0,4</td><td>-4,6</td><td>-8,8</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,6</td><td>-29,8</td></tr> <tr><td>11,9</td><td>7,8</td><td>3,8</td><td>-0,4</td><td>-4,6</td><td>-8,8</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,6</td><td>-29,8</td></tr> <tr><td>12,2</td><td>8,0</td><td>3,9</td><td>-0,3</td><td>-4,5</td><td>-8,7</td><td>-13,0</td><td>-17,2</td><td>-21,4</td><td>-25,6</td><td>-29,8</td></tr> </tbody> </table>	12,2	8,0	3,9	-0,3	-4,5	-8,7	-13,0	-17,2	-21,4	-25,6	-29,8	11,9	7,8	3,8	-0,4	-4,6	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,6	-29,8	11,7	7,7	3,7	-0,4	-4,6	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,6	-29,8	11,7	7,7	3,6	-0,5	-4,6	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6	11,7	7,7	3,6	-0,5	-4,7	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6	11,7	7,6	3,6	-0,6	-4,7	-8,9	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6	11,6	7,6	3,5	-0,6	-4,8	-8,9	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6	11,6	7,5	3,4	-0,7	-4,9	-9,0	-13,1	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6	11,5	7,3	3,2	-0,9	-5,0	-9,1	-13,1	-17,2	-21,3	-25,4	-29,6	11,3	7,0	2,9	-1,2	-5,2	-9,2	-13,2	-17,2	-21,3	-25,3	-29,5	11,0	6,6	2,4	-1,6	-5,5	-9,4	-13,2	-17,1	-21,1	-25,2	-29,5	10,4	5,8	1,6	-2,2	-5,9	-9,6	-13,3	-17,0	-20,9	-24,9	-29,3	9,2	4,4	0,5	-3,1	-6,5	-9,9	-13,3	-16,7	-20,5	-24,3	-28,9	8,7	2,1	-1,3	-4,4	-7,4	-10,3	-13,2	-16,3	-19,4	-23,0	-27,6	0,6	-1,6	-3,8	-6,1	-8,4	-10,8	-13,2	-15,7	-18,1	-20,5	-23,0	0,1	-1,9	-3,9	-6,2	-8,5	-10,9	-13,2	-15,6	-18,0	-20,3	-22,4	0,0	-1,9	-4,0	-6,2	-8,5	-10,9	-13,2	-15,6	-17,9	-20,2	-22,3	-0,1	-2,0	-4,1	-6,3	-8,6	-10,9	-13,2	-15,6	-17,9	-20,1	-22,1	0,0	-1,9	-4,0	-6,2	-8,5	-10,9	-13,2	-15,6	-17,9	-20,2	-22,3	0,1	-1,9	-3,9	-6,2	-8,5	-10,9	-13,2	-15,6	-18,0	-20,3	-22,4	0,6	-1,6	-3,8	-6,1	-8,4	-10,8	-13,2	-15,7	-18,1	-20,5	-23,0	8,7	2,1	-1,3	-4,4	-7,4	-10,3	-13,2	-16,3	-19,4	-23,0	-27,6	9,2	4,4	0,5	-3,1	-6,5	-9,9	-13,3	-16,7	-20,5	-24,3	-28,9	10,4	5,8	1,6	-2,2	-5,9	-9,6	-13,3	-17,0	-20,9	-24,9	-29,3	11,0	6,6	2,4	-1,6	-5,5	-9,4	-13,2	-17,1	-21,1	-25,2	-29,5	11,3	7,0	2,9	-1,2	-5,2	-9,2	-13,2	-17,2	-21,3	-25,3	-29,5	11,5	7,3	3,2	-0,9	-5,0	-9,1	-13,1	-17,2	-21,3	-25,4	-29,6	11,6	7,5	3,4	-0,7	-4,9	-9,0	-13,1	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6	11,6	7,6	3,5	-0,6	-4,8	-8,9	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6	11,7	7,6	3,6	-0,6	-4,7	-8,9	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6	11,7	7,7	3,6	-0,5	-4,7	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6	11,7	7,7	3,6	-0,5	-4,7	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6	11,7	7,7	3,6	-0,5	-4,6	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6	11,7	7,7	3,7	-0,4	-4,6	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,6	-29,8	11,9	7,8	3,8	-0,4	-4,6	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,6	-29,8	12,2	8,0	3,9	-0,3	-4,5	-8,7	-13,0	-17,2	-21,4	-25,6	-29,8	
12,2	8,0	3,9	-0,3	-4,5	-8,7	-13,0	-17,2	-21,4	-25,6	-29,8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,9	7,8	3,8	-0,4	-4,6	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,6	-29,8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,7	7,7	3,7	-0,4	-4,6	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,6	-29,8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,7	7,7	3,6	-0,5	-4,6	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,7	7,7	3,6	-0,5	-4,7	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,7	7,6	3,6	-0,6	-4,7	-8,9	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,6	7,6	3,5	-0,6	-4,8	-8,9	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,6	7,5	3,4	-0,7	-4,9	-9,0	-13,1	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,5	7,3	3,2	-0,9	-5,0	-9,1	-13,1	-17,2	-21,3	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,3	7,0	2,9	-1,2	-5,2	-9,2	-13,2	-17,2	-21,3	-25,3	-29,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,0	6,6	2,4	-1,6	-5,5	-9,4	-13,2	-17,1	-21,1	-25,2	-29,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
10,4	5,8	1,6	-2,2	-5,9	-9,6	-13,3	-17,0	-20,9	-24,9	-29,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
9,2	4,4	0,5	-3,1	-6,5	-9,9	-13,3	-16,7	-20,5	-24,3	-28,9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
8,7	2,1	-1,3	-4,4	-7,4	-10,3	-13,2	-16,3	-19,4	-23,0	-27,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
0,6	-1,6	-3,8	-6,1	-8,4	-10,8	-13,2	-15,7	-18,1	-20,5	-23,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
0,1	-1,9	-3,9	-6,2	-8,5	-10,9	-13,2	-15,6	-18,0	-20,3	-22,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
0,0	-1,9	-4,0	-6,2	-8,5	-10,9	-13,2	-15,6	-17,9	-20,2	-22,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-0,1	-2,0	-4,1	-6,3	-8,6	-10,9	-13,2	-15,6	-17,9	-20,1	-22,1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
0,0	-1,9	-4,0	-6,2	-8,5	-10,9	-13,2	-15,6	-17,9	-20,2	-22,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
0,1	-1,9	-3,9	-6,2	-8,5	-10,9	-13,2	-15,6	-18,0	-20,3	-22,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
0,6	-1,6	-3,8	-6,1	-8,4	-10,8	-13,2	-15,7	-18,1	-20,5	-23,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
8,7	2,1	-1,3	-4,4	-7,4	-10,3	-13,2	-16,3	-19,4	-23,0	-27,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
9,2	4,4	0,5	-3,1	-6,5	-9,9	-13,3	-16,7	-20,5	-24,3	-28,9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
10,4	5,8	1,6	-2,2	-5,9	-9,6	-13,3	-17,0	-20,9	-24,9	-29,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,0	6,6	2,4	-1,6	-5,5	-9,4	-13,2	-17,1	-21,1	-25,2	-29,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,3	7,0	2,9	-1,2	-5,2	-9,2	-13,2	-17,2	-21,3	-25,3	-29,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,5	7,3	3,2	-0,9	-5,0	-9,1	-13,1	-17,2	-21,3	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,6	7,5	3,4	-0,7	-4,9	-9,0	-13,1	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,6	7,6	3,5	-0,6	-4,8	-8,9	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,7	7,6	3,6	-0,6	-4,7	-8,9	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,7	7,7	3,6	-0,5	-4,7	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,7	7,7	3,6	-0,5	-4,7	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,7	7,7	3,6	-0,5	-4,6	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,4	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,7	7,7	3,7	-0,4	-4,6	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,6	-29,8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
11,9	7,8	3,8	-0,4	-4,6	-8,8	-13,0	-17,2	-21,4	-25,6	-29,8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
12,2	8,0	3,9	-0,3	-4,5	-8,7	-13,0	-17,2	-21,4	-25,6	-29,8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
<p>Внутренний угол ограждения, теплопроводность материала $\lambda = 0,18 \text{ Вт/(мС)}$, толщина ограждения 40 см</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>13,8</td><td>9,8</td><td>5,5</td><td>1,2</td><td>-3,2</td><td>-7,7</td><td>-12,2</td><td>-16,6</td><td>-21,2</td><td>-25,7</td><td>-30,1</td></tr> <tr><td>12,7</td><td>8,8</td><td>4,8</td><td>0,8</td><td>-3,4</td><td>-7,6</td><td>-11,9</td><td>-16,2</td><td>-20,8</td><td>-25,0</td><td>-29,4</td></tr> <tr><td>13,2</td><td>9,3</td><td>5,4</td><td>1,3</td><td>-2,8</td><td>-7,0</td><td>-11,3</td><td>-15,7</td><td>-20,2</td><td>-24,7</td><td>-29,4</td></tr> <tr><td>13,4</td><td>9,6</td><td>5,5</td><td>1,3</td><td>-3,0</td><td>-7,5</td><td>-12,0</td><td>-16,5</td><td>-21,0</td><td>-25,4</td><td>-29,8</td></tr> <tr><td>13,4</td><td>9,6</td><td>5,6</td><td>1,4</td><td>-2,9</td><td>-7,3</td><td>-11,8</td><td>-16,4</td><td>-20,9</td><td>-25,3</td><td>-29,8</td></tr> <tr><td>13,4</td><td>9,7</td><td>5,7</td><td>1,6</td><td>-2,7</td><td>-7,1</td><td>-11,6</td><td>-16,2</td><td>-20,8</td><td>-25,2</td><td>-29,7</td></tr> <tr><td>13,5</td><td>9,8</td><td>5,9</td><td>1,8</td><td>-2,4</td><td>-6,8</td><td>-11,3</td><td>-15,9</td><td>-20,5</td><td>-25,1</td><td>-29,7</td></tr> <tr><td>13,6</td><td>10,0</td><td>6,2</td><td>2,1</td><td>-2,0</td><td>-6,4</td><td>-10,8</td><td>-15,4</td><td>-20,2</td><td>-24,8</td><td>-29,6</td></tr> <tr><td>13,7</td><td>10,2</td><td>6,5</td><td>2,6</td><td>-1,5</td><td>-5,7</td><td>-10,1</td><td>-14,8</td><td>-19,6</td><td>-24,5</td><td>-29,5</td></tr> <tr><td>13,8</td><td>10,4</td><td>6,9</td><td>3,2</td><td>-0,7</td><td>-4,8</td><td>-9,1</td><td>-13,8</td><td>-18,8</td><td>-24,0</td><td>-29,3</td></tr> <tr><td>13,9</td><td>10,6</td><td>7,4</td><td>4,0</td><td>0,4</td><td>-3,4</td><td>-7,5</td><td>-12,2</td><td>-17,5</td><td>-23,5</td><td>-28,9</td></tr> <tr><td>14,1</td><td>11,1</td><td>8,1</td><td>4,9</td><td>1,7</td><td>-1,8</td><td>-5,5</td><td>-9,5</td><td>-13,7</td><td>-18,2</td><td></td></tr> <tr><td>14,4</td><td>11,7</td><td>8,9</td><td>6,0</td><td>3,0</td><td>0,0</td><td>-3,5</td><td>-6,5</td><td>-9,6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14,8</td><td>12,3</td><td>9,7</td><td>7,1</td><td>4,5</td><td>1,8</td><td>-0,9</td><td>-3,7</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15,1</td><td>12,9</td><td>10,6</td><td>8,4</td><td>6,1</td><td>3,7</td><td>1,4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15,4</td><td>13,5</td><td>11,6</td><td>9,6</td><td>7,7</td><td>5,7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15,8</td><td>14,1</td><td>12,5</td><td>10,9</td><td>9,3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16,2</td><td>14,8</td><td>13,4</td><td>12,1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16,6</td><td>15,5</td><td>14,4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17,0</td><td>16,3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17,4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	13,8	9,8	5,5	1,2	-3,2	-7,7	-12,2	-16,6	-21,2	-25,7	-30,1	12,7	8,8	4,8	0,8	-3,4	-7,6	-11,9	-16,2	-20,8	-25,0	-29,4	13,2	9,3	5,4	1,3	-2,8	-7,0	-11,3	-15,7	-20,2	-24,7	-29,4	13,4	9,6	5,5	1,3	-3,0	-7,5	-12,0	-16,5	-21,0	-25,4	-29,8	13,4	9,6	5,6	1,4	-2,9	-7,3	-11,8	-16,4	-20,9	-25,3	-29,8	13,4	9,7	5,7	1,6	-2,7	-7,1	-11,6	-16,2	-20,8	-25,2	-29,7	13,5	9,8	5,9	1,8	-2,4	-6,8	-11,3	-15,9	-20,5	-25,1	-29,7	13,6	10,0	6,2	2,1	-2,0	-6,4	-10,8	-15,4	-20,2	-24,8	-29,6	13,7	10,2	6,5	2,6	-1,5	-5,7	-10,1	-14,8	-19,6	-24,5	-29,5	13,8	10,4	6,9	3,2	-0,7	-4,8	-9,1	-13,8	-18,8	-24,0	-29,3	13,9	10,6	7,4	4,0	0,4	-3,4	-7,5	-12,2	-17,5	-23,5	-28,9	14,1	11,1	8,1	4,9	1,7	-1,8	-5,5	-9,5	-13,7	-18,2		14,4	11,7	8,9	6,0	3,0	0,0	-3,5	-6,5	-9,6			14,8	12,3	9,7	7,1	4,5	1,8	-0,9	-3,7				15,1	12,9	10,6	8,4	6,1	3,7	1,4					15,4	13,5	11,6	9,6	7,7	5,7						15,8	14,1	12,5	10,9	9,3							16,2	14,8	13,4	12,1								16,6	15,5	14,4									17,0	16,3										17,4																																																																																																																																																																																
13,8	9,8	5,5	1,2	-3,2	-7,7	-12,2	-16,6	-21,2	-25,7	-30,1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
12,7	8,8	4,8	0,8	-3,4	-7,6	-11,9	-16,2	-20,8	-25,0	-29,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
13,2	9,3	5,4	1,3	-2,8	-7,0	-11,3	-15,7	-20,2	-24,7	-29,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
13,4	9,6	5,5	1,3	-3,0	-7,5	-12,0	-16,5	-21,0	-25,4	-29,8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
13,4	9,6	5,6	1,4	-2,9	-7,3	-11,8	-16,4	-20,9	-25,3	-29,8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
13,4	9,7	5,7	1,6	-2,7	-7,1	-11,6	-16,2	-20,8	-25,2	-29,7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
13,5	9,8	5,9	1,8	-2,4	-6,8	-11,3	-15,9	-20,5	-25,1	-29,7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
13,6	10,0	6,2	2,1	-2,0	-6,4	-10,8	-15,4	-20,2	-24,8	-29,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
13,7	10,2	6,5	2,6	-1,5	-5,7	-10,1	-14,8	-19,6	-24,5	-29,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
13,8	10,4	6,9	3,2	-0,7	-4,8	-9,1	-13,8	-18,8	-24,0	-29,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
13,9	10,6	7,4	4,0	0,4	-3,4	-7,5	-12,2	-17,5	-23,5	-28,9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
14,1	11,1	8,1	4,9	1,7	-1,8	-5,5	-9,5	-13,7	-18,2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
14,4	11,7	8,9	6,0	3,0	0,0	-3,5	-6,5	-9,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
14,8	12,3	9,7	7,1	4,5	1,8	-0,9	-3,7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
15,1	12,9	10,6	8,4	6,1	3,7	1,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
15,4	13,5	11,6	9,6	7,7	5,7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
15,8	14,1	12,5	10,9	9,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
16,2	14,8	13,4	12,1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
16,6	15,5	14,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
17,0	16,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
17,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
<p>Наружный угол ограждения, теплопроводность материала $\lambda = 0,18 \text{ Вт/(мС)}$, толщина ограждения 40 см</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>-30,2</td><td>-26,0</td><td>-21,5</td><td>-17,0</td><td>-12,4</td><td>-7,8</td><td>-3,3</td><td>1,3</td><td>5,8</td><td>10,1</td><td>14,0</td></tr> <tr><td>-30,0</td><td>-25,8</td><td>-21,4</td><td>-16,9</td><td>-12,5</td><td>-7,9</td><td>-3,4</td><td>1,6</td><td>5,3</td><td>9,4</td><td>13,2</td></tr> <tr><td>-30,0</td><td>-26,7</td><td>-21,4</td><td>-17,0</td><td>-12,5</td><td>-8,0</td><td>-3,6</td><td>0,8</td><td>5,1</td><td>9,2</td><td>13,1</td></tr> <tr><td>-30,0</td><td>-25,7</td><td>-21,5</td><td>-17,0</td><td>-12,6</td><td>-8,1</td><td>-3,6</td><td>0,7</td><td>5,0</td><td>9,1</td><td>13,1</td></tr> <tr><td>-30,0</td><td>-25,7</td><td>-21,5</td><td>-17,1</td><td>-12,7</td><td>-8,2</td><td>-3,7</td><td>0,7</td><td>4,9</td><td>9,1</td><td>13,0</td></tr> <tr><td>-30,0</td><td>-25,8</td><td>-21,6</td><td>-17,2</td><td>-12,8</td><td>-8,3</td><td>-3,9</td><td>0,5</td><td>4,8</td><td>9,0</td><td>13,0</td></tr> <tr><td>-30,0</td><td>-25,8</td><td>-21,7</td><td>-17,3</td><td>-12,9</td><td>-8,5</td><td>-4,1</td><td>0,3</td><td>4,6</td><td>8,8</td><td>12,9</td></tr> <tr><td>-30,0</td><td>-25,9</td><td>-21,8</td><td>-17,5</td><td>-13,2</td><td>-8,8</td><td>-4,4</td><td>0,0</td><td>4,3</td><td>8,6</td><td>12,8</td></tr> <tr><td>-30,0</td><td>-26,0</td><td>-21,9</td><td>-17,7</td><td>-13,5</td><td>-9,2</td><td>-4,8</td><td>-0,5</td><td>3,9</td><td>8,3</td><td>12,6</td></tr> <tr><td>-30,1</td><td>-26,1</td><td>-22,1</td><td>-18,0</td><td>-13,9</td><td>-9,8</td><td>-5,5</td><td>-1,2</td><td>3,3</td><td>7,9</td><td>12,3</td></tr> <tr><td>-30,1</td><td>-26,1</td><td>-22,2</td><td>-18,4</td><td>-14,5</td><td>-10,6</td><td>-6,5</td><td>-2,2</td><td>2,4</td><td>7,3</td><td>11,9</td></tr> <tr><td>-30,3</td><td>-26,7</td><td>-23,1</td><td>-19,6</td><td>-16,0</td><td>-12,4</td><td>-8,6</td><td>-4,7</td><td>-0,6</td><td>3,7</td><td></td></tr> <tr><td>-30,4</td><td>-27,2</td><td>-24,0</td><td>-20,8</td><td>-17,6</td><td>-14,3</td><td>-10,8</td><td>-7,3</td><td>-3,4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>-30,6</td><td>-27,7</td><td>-24,9</td><td>-22,1</td><td>-19,2</td><td>-16,3</td><td>-13,3</td><td>-10,3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>-30,7</td><td>-28,2</td><td>-25,8</td><td>-23,3</td><td>-20,8</td><td>-18,3</td><td>-15,9</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>-30,9</td><td>-28,7</td><td>-26,6</td><td>-24,5</td><td>-22,5</td><td>-20,4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>-31,1</td><td>-29,2</td><td>-27,5</td><td>-25,8</td><td>-24,1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>-31,2</td><td>-29,7</td><td>-28,1</td><td>-26,9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>-31,5</td><td>-30,1</td><td>-29,2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>-31,7</td><td>-31,0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>-31,9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	-30,2	-26,0	-21,5	-17,0	-12,4	-7,8	-3,3	1,3	5,8	10,1	14,0	-30,0	-25,8	-21,4	-16,9	-12,5	-7,9	-3,4	1,6	5,3	9,4	13,2	-30,0	-26,7	-21,4	-17,0	-12,5	-8,0	-3,6	0,8	5,1	9,2	13,1	-30,0	-25,7	-21,5	-17,0	-12,6	-8,1	-3,6	0,7	5,0	9,1	13,1	-30,0	-25,7	-21,5	-17,1	-12,7	-8,2	-3,7	0,7	4,9	9,1	13,0	-30,0	-25,8	-21,6	-17,2	-12,8	-8,3	-3,9	0,5	4,8	9,0	13,0	-30,0	-25,8	-21,7	-17,3	-12,9	-8,5	-4,1	0,3	4,6	8,8	12,9	-30,0	-25,9	-21,8	-17,5	-13,2	-8,8	-4,4	0,0	4,3	8,6	12,8	-30,0	-26,0	-21,9	-17,7	-13,5	-9,2	-4,8	-0,5	3,9	8,3	12,6	-30,1	-26,1	-22,1	-18,0	-13,9	-9,8	-5,5	-1,2	3,3	7,9	12,3	-30,1	-26,1	-22,2	-18,4	-14,5	-10,6	-6,5	-2,2	2,4	7,3	11,9	-30,3	-26,7	-23,1	-19,6	-16,0	-12,4	-8,6	-4,7	-0,6	3,7		-30,4	-27,2	-24,0	-20,8	-17,6	-14,3	-10,8	-7,3	-3,4			-30,6	-27,7	-24,9	-22,1	-19,2	-16,3	-13,3	-10,3				-30,7	-28,2	-25,8	-23,3	-20,8	-18,3	-15,9					-30,9	-28,7	-26,6	-24,5	-22,5	-20,4						-31,1	-29,2	-27,5	-25,8	-24,1							-31,2	-29,7	-28,1	-26,9								-31,5	-30,1	-29,2									-31,7	-31,0										-31,9																																																																																																																																																																																
-30,2	-26,0	-21,5	-17,0	-12,4	-7,8	-3,3	1,3	5,8	10,1	14,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-30,0	-25,8	-21,4	-16,9	-12,5	-7,9	-3,4	1,6	5,3	9,4	13,2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-30,0	-26,7	-21,4	-17,0	-12,5	-8,0	-3,6	0,8	5,1	9,2	13,1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-30,0	-25,7	-21,5	-17,0	-12,6	-8,1	-3,6	0,7	5,0	9,1	13,1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-30,0	-25,7	-21,5	-17,1	-12,7	-8,2	-3,7	0,7	4,9	9,1	13,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-30,0	-25,8	-21,6	-17,2	-12,8	-8,3	-3,9	0,5	4,8	9,0	13,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-30,0	-25,8	-21,7	-17,3	-12,9	-8,5	-4,1	0,3	4,6	8,8	12,9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-30,0	-25,9	-21,8	-17,5	-13,2	-8,8	-4,4	0,0	4,3	8,6	12,8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-30,0	-26,0	-21,9	-17,7	-13,5	-9,2	-4,8	-0,5	3,9	8,3	12,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-30,1	-26,1	-22,1	-18,0	-13,9	-9,8	-5,5	-1,2	3,3	7,9	12,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-30,1	-26,1	-22,2	-18,4	-14,5	-10,6	-6,5	-2,2	2,4	7,3	11,9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-30,3	-26,7	-23,1	-19,6	-16,0	-12,4	-8,6	-4,7	-0,6	3,7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
-30,4	-27,2	-24,0	-20,8	-17,6	-14,3	-10,8	-7,3	-3,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
-30,6	-27,7	-24,9	-22,1	-19,2	-16,3	-13,3	-10,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
-30,7	-28,2	-25,8	-23,3	-20,8	-18,3	-15,9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
-30,9	-28,7	-26,6	-24,5	-22,5	-20,4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
-31,1	-29,2	-27,5	-25,8	-24,1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
-31,2	-29,7	-28,1	-26,9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
-31,5	-30,1	-29,2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
-31,7	-31,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
-31,9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

Выводы

Математическую модель построения двумерного температурного поля методом прогонки, представленную в данной работе, рекомендуется использовать:

- 1) для определения температур поверхностей ограждений при заданных температурах наружной и внутренней сред;
- 2) для определения температур точек росы в толще ограждающих конструкций;
- 3) для определения величин относительной влажности в плоском сечении ограждающей конструкции;
- 4) для определения температурных мостов в ограждающих конструкциях и подбора толщины теплоизоляции в этих местах;
- 5) для определения коэффициентов удельных потерь теплоты через линейные теплотехнические неоднородности.

Представленная работа может быть полезна для выполнения курсовых и дипломных работ студентов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-69 01 01 «Архитектура» и 1-69 01 02 «Архитектурный дизайн».

Список цитированных источников

1. Строительная теплотехника. Строительные правила: СП 2.04.01-2020. – Введ. 18.11.2020 – Минск. : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2020.
2. Строительная теплотехника. Строительные правила: СП 2.04.01-2020. – Введ. 18.11.2020 – Минск. : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2020.
3. Строительная теплотехника. Строительные правила: СП 2.04.01-2020. – Введ. 18.11.2020 – Минск. : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2020.

УДК 72.04.03

Чабурко Е. В.

Научный руководитель: к. п. н., доцент Диченская Е. А.

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ В АРХИТЕКТУРЕ

Целью работы является проведение обследования эволюции применения естественного освещения в зданиях и сооружениях в различных временных отрезках, разделив ее на несколько ступеней.

1 ступень. Естественный свет белый – стекло белое – освещение белое.

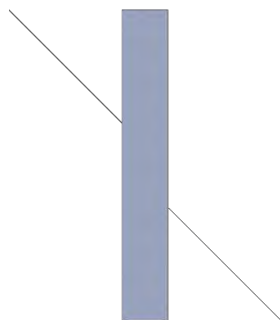


Рисунок 1 – Схема естественного освещения

Это называется естественное освещение. Еще 160 лет тому назад прусское законодательство требовало, чтобы из окон нижнего этажа был виден небосвод. По действующим сейчас правилам все помещения, предназначенные для длительного пребывания людей, должны иметь естественное освещение. Естественное освещение помещений подвержено количественным и качественным изменениям, зависящим от облачности неба, географического расположения, ориентации по странам света и времени суток.

Современные архитекторы, вместе с учетом инсоляции, стараются учитывать и влияние света на формирование пространства.

Ещё в 30-х годах Ле Корбюзье в проектах жилых домов для Алжира и Барселоны, а за ним и другие архитекторы начали широко применять козырьки и длинные горизонтальные и вертикальные рёбра-жалюзи в качестве защиты помещений от солнца.

Стены-экраны, различные жалюзи, шторы, козырьки и другие элементы архитектуры, главным назначением которых является регулирование дневного освещения, в значительной мере определяют облик современных зданий.

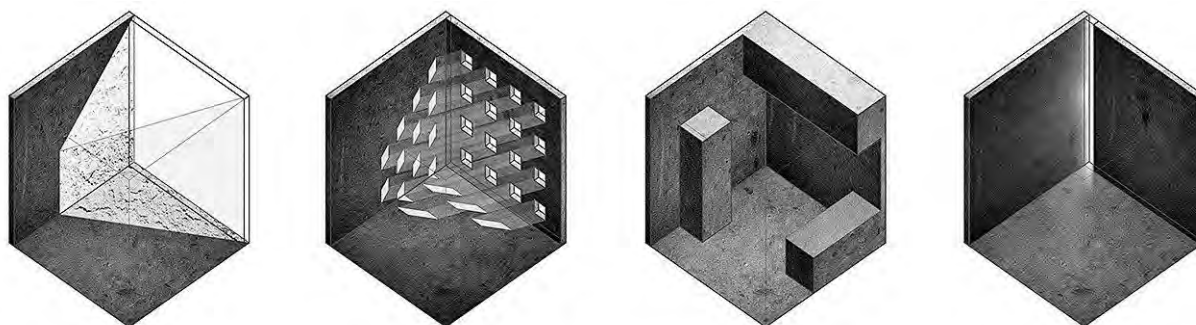


Рисунок 2 – Примеры работы со светом, схемы

Особенно наглядно воздействие дневного света на формирование зданий проявляется в архитектуре жилища. Здесь человек проводит большую часть времени, и поэтому необходим максимальный учёт гигиенических свойств естественного света. Стремление к оптимальному естественному освещению квартир вызвало разнообразие конфигураций и приёмов группировки жилых домов.

Свет работает по нескольким физическим принципам:

1. Коэффициент отражения.
2. Коэффициент поглощения.

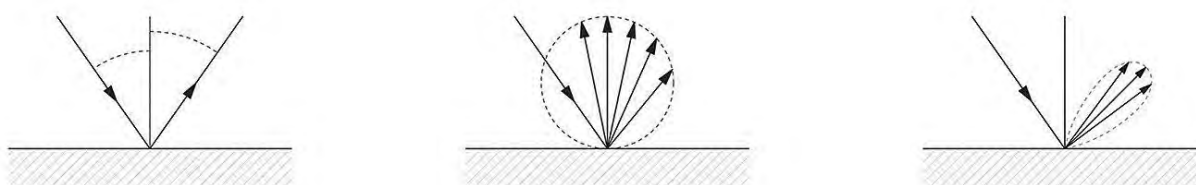


Рисунок 3 – Отражение света, схемы

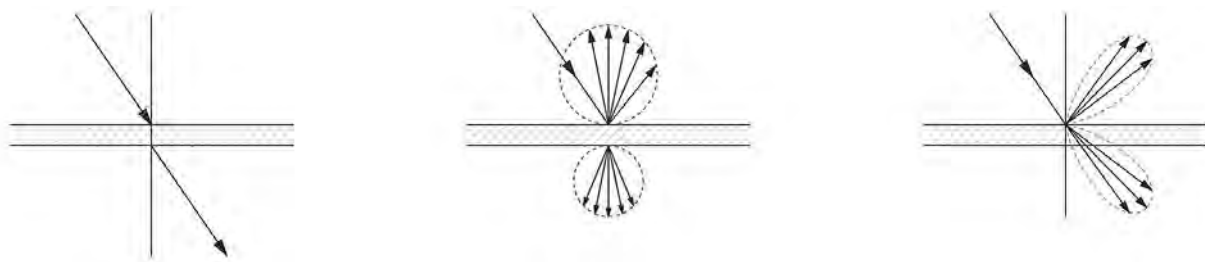


Рисунок 4 – Пропускание света, схемы

В одном из интервью Стивен Холл, говоря об элементах среды, обогащающих восприятие архитектуры, отмечает, что «внимание к феноменологическим качествам трансформации света сквозь отражения в материалах может представлять собой инструмент поэтизации пространств и возможности достигать самых волнующих ощущений». Отражённый естественный свет обладает набором уникальных свойств: отражения способны создавать иллюзию лёгкости форм, регулировать освещённость, умножать и расширять границы пространства.

Отдельно нужно упомянуть, что естественный свет, проходя сквозь различные фильтры, не только изменяет качественные характеристики, но и выявляет природные особенности материала.

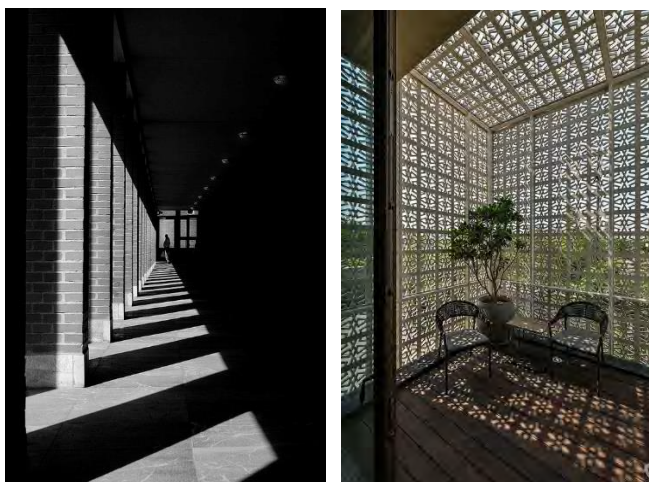


Рисунок 5,6 – Примеры работы со светом в архитектуре

Так, например, работают витражи. Это **вторая ступень**, когда свет белый – стекло цветное – свет цветной и зависит от цвета стекла.

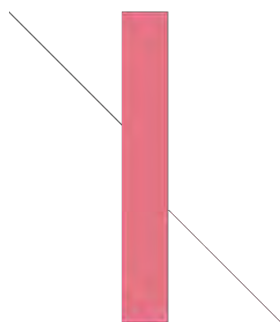


Рисунок 7 – Схема витража

Слово "витраж" произошло от французского *vitre* – оконное стекло. Наверное, самой первой витражи стала использовать католическая церковь. Произошло так скорее всего потому, что свет, проходя через витраж, окрашивается в его цвета и создает особую эмоциональную атмосферу, что особенно важно именно в храмах. Произошло это приблизительно в первом тысячелетии нашей эры. В начале первого тысячелетия нашей эры (Романский период) в архитектуре стало значительно больше элементов, которые украшали витражами. Наиболее типичен для того времени ансамбль из трех окон, символизирующих Святую Троицу.

Лучезарность первых витражей отвечала ранним христианским понятиям о связи между светом и духом. И витраж воспринимался в качестве посредника между земным и божественным миром.

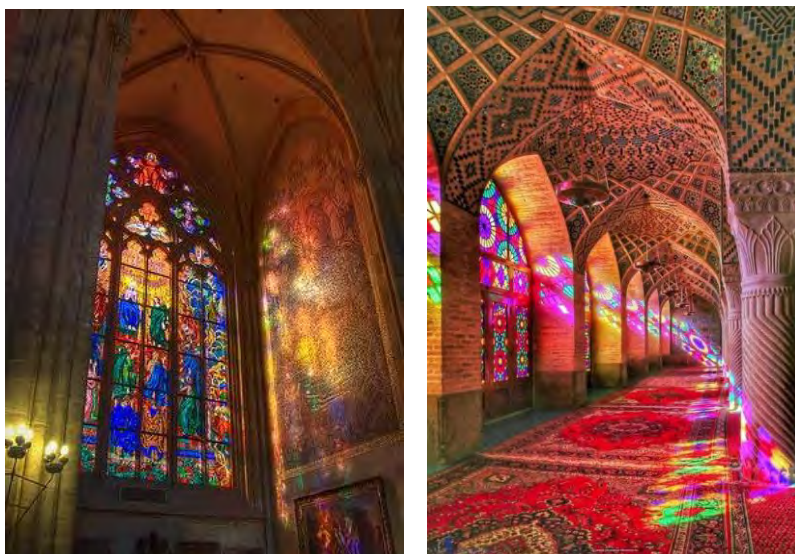


Рисунок 8,9 – Примеры витражей

В современных интерьерах также возможно использование витражного остекления.

Однако можно отметить и **третью ступень** развития освещения. Это преломление света. Свет, проходящий сквозь прозрачную призму, разбивается на весь солнечный спектр, то есть у нас есть белый свет – прозрачное стекло – цветное освещение, однако мы не можем предсказать, какое именно.

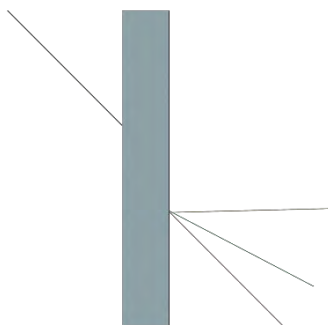


Рисунок 10 – Схема призматического освещения

Таким образом, работают ловцы солнца (Suncatcher). Собранный из переливающихся, прозрачных, больших, малых, однотонных и разноцветных бусин, Ловец преломляет лучи солнца или, что даже более интересно, — в условиях искусственного освещения заставляет лучики «танцевать».



Рисунок 11,12 – Пример использования ловцов солнца

Дизайнер Джон Фостер создал серию нестандартных столиков, в которых поселились кусочки радуги. Стеклянные столешницы помещены на ряд объемных фигур из стекла. Естественный свет, проходя через них, раскалывается на сотни радужных отражений.

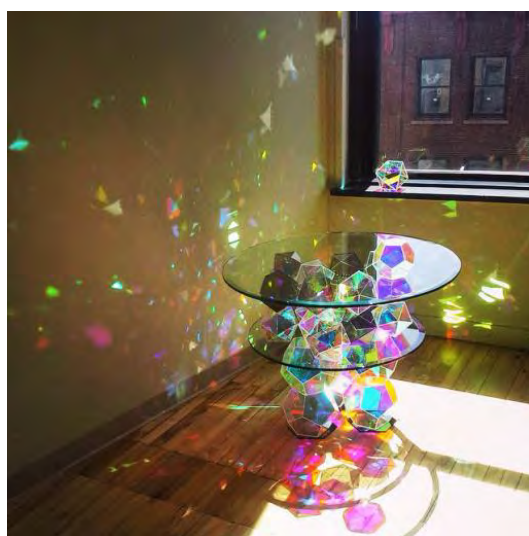


Рисунок 13 – Столик Джона Фостера

На работе с преломлением и принципах ловцов солнца работают голографические наклейки на окна, а также дихроические пленки, меняющие свой цвет в зависимости от угла обзора наблюдателя.



*Рисунок 14 – Голографическая наклейка;
Рисунок 15 – Инсталляция «Материальность будущего», 2019 г.*

Однако при подобных интерьерных решениях мы наслаждаемся всем цветовым спектром, но некоторые архитекторы пошли дальше и предположили, что цвет спектра можно просчитывать. И это **четвертая ступень** эволюции солнечного освещения, когда свет белый – стекло прозрачное – освещение цветное, и мы можем сказать, какое именно.

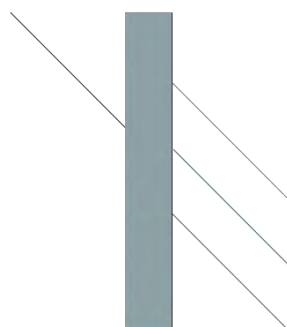


Рисунок 16 – Схема расчетного призматического освещения

Примером может служить световая солнечная инсталляция в калифорнийской библиотеке Петра Еркина.

Инсталляция представляет собой световую шахту, имеющую размеры 1,5 м кв. в сечении, 3 м в высоту. Она направлена в небо и закрыта оргстеклом для защиты от осадков.



Рисунок 17 – Инсталляция Петра Еркина

Солнечный свет и свет небосвода транспортируются в помещение библиотеки от рассвета до заката.

Принцип работы световой шахты. Световод состоит из призм и зеркал, которые раскладывают белый свет на 7 основных цветов, а затем опять смешивают по принципу физического преломления лучей.

Каждые 15 минут картинка кардинально меняется, несмотря на то, что земля за это время поворачивается всего лишь на $3,75^\circ$ вокруг своей оси.

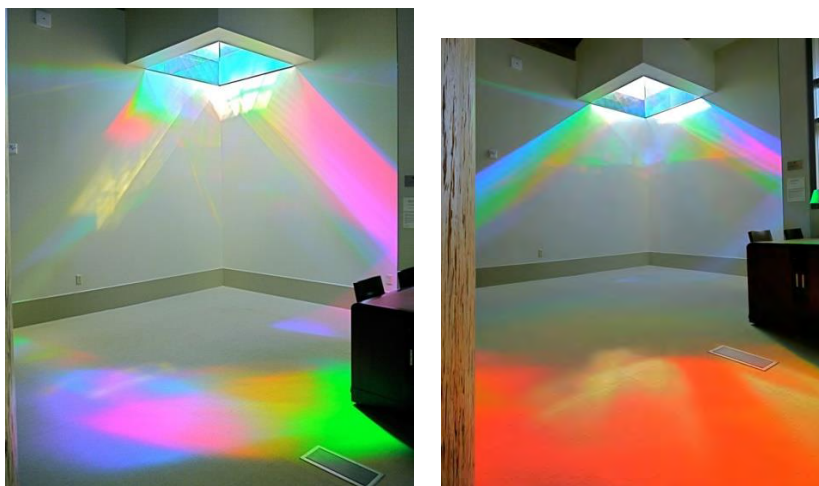


Рисунок 18,19 – Фото работы световой шахты

Еркин создал эту световую живопись в библиотеке Лафайет, используя изначально макет из призм и зеркал в пропорции 100:1. Он построил физическую модель небосвода поместив внутрь нее миниатюрный световод. Модель могла воссоздавать всевозможные углы солнечного света, проникающего в библиотеку в течение года. П. Ерсин разрабатывал инсталляцию в течение нескольких месяцев на основе созданного макета.

Данная работа позволяет предположить, что подобные модели можно полностью просчитывать. Современные технологии позволяют воссоздать модель небосвода, как в виде макета (коробка, освещенная лампой, имитирующей дневное освещение), так и в 3d, и архитектор может полностью предсказать то, что будет неожиданностью для обычного посетителя, то есть стать истинным творцом архитектурного пространства.

Любую из вышеперечисленных ступеней можно в той или иной мере использовать при формировании архитектурных решений для достижения поставленных целей, а это значит, что свет можно смело назвать одним из главных инструментов, достойных внимания и изучения

Список цитированных источников

1. Урок 219. Дисперсия света [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://youtu.be/3YjbW7Ee0pA/>. – Дата доступа: 12.04.21.

2. Световая солнечная инсталляция в калифорнийской библиотеке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lumen2b.ru/solar-art-installation-lib>. – Дата доступа: 12.04.21.

3. Физика света в архитектуре будущего [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://youtu.be/KJtsc7sUyHc>. – Дата доступа: 12.04.21.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОРЕЙСКОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

Целью работы является проведение исследования конструктивных особенностей корейского домостроения.

Ханок — дом, построенный в традиционном корейском стиле. Уже в каменном бронзовом веке упоминается о постройках имеющие много черт ханока. Но сам ханок (что дошёл до наших дней) был впервые спроектирован и построен в IV веке во времена династии Чосон. Главным строительным материалом в Корее исторически было дерево, поэтому самые ранние постройки практически не сохранились, но довольно быстро дерево стали заменять камнем. В зависимости от расположения менялась форма дома, примечательно, что форма была связана с корейским алфавитом. На Севере в форме буквы «□» (м) похожей на прямоугольник, приближенный к квадрату. В центральных районах в форме буквы «└» (н), по виду напоминает английскую L. На юге в форме буквы «—» (ы), по виду вытянутый прямоугольник.

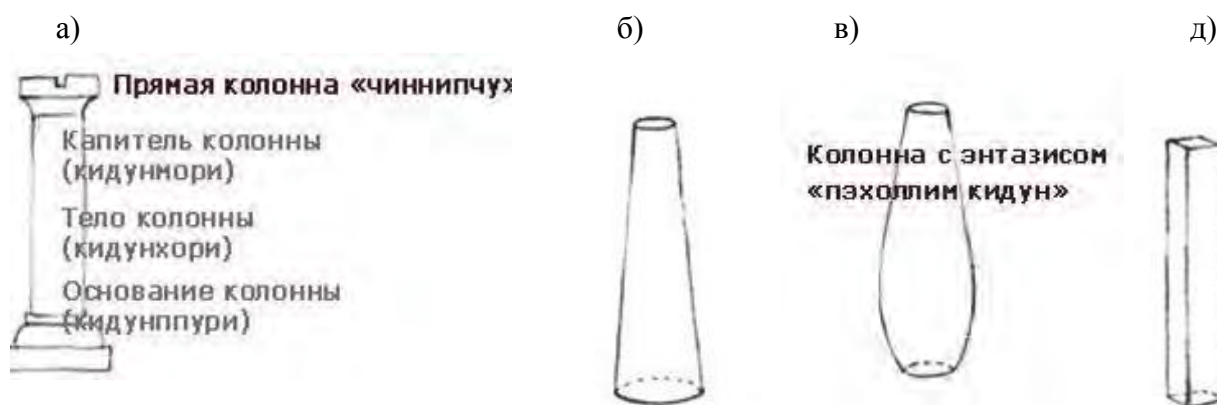
Фундамент «чучхуттоль» (주춧돌) укладывали под столбы, чтобы предотвратить проникновение сырости от земли к столбам. Столб обтёсывали в соответствии с естественной поверхностью углового фундаментального камня и прочно устанавливали на него, таким образом угловой камень и столб представляли собой единую конструкцию. Различали два вида угловых камней «чхосок»: «мактоль» — камень, взятый прямо из природы, необтёсанный и сохраняющий естественные формы и «тадымдоль» — обработанный вариант «мактоль», обрезанный и обтёсанный для использования под определённые нужды. В случае использования «мактоль» в качестве углового камня обычно поверхность основания колонны не совпадает по форме с поверхностью фундамента. По этой причине основание колонны обычно обтёсывали в соответствии с поверхностью углового камня фундамента.



Рисунок 1 – Фундамент и столбы «Кидун»

Колонны, столбы «кидун» (기둥) – это вертикальные конструкции, принимающие на себя тяжесть крыши и передающие нагрузку фундаменту. Если главная поперечная балка «тэдыльбо» представляет собой горизонтальную поддерживающую конструкцию, то столбы выполняют схожую роль, но только принимают на себя вертикальную нагрузку.

Прямая колонна «чиннипчу» (직립주) – капитель, тело и основание одного размера (рисунок 2а). Колонна с широким основанием «минхоллим кидун» (민홀림기둥), постепенно сужающаяся от основания к вершине, диаметр основания которой больше диаметра её капители (рисунок 2б). Колонна с энтазисом «пэхоллим кидун» (배홀림기둥) – это колонна с утолщённым основанием, сужающаяся по мере продвижения книзу или кверху (рисунок 2в). Прямоугольная колонна «каккидун» (각기둥). В зависимости от количества прямоугольных поверхностей различают четырёхугольные колонны, которые использовались при строительстве в обычных домах, шестиугольные, которые использовали при сооружении беседок, и восьмиугольные, которые использовали в самых важных и красивых постройках (рисунок 2в).



а) прямая колонна «чиннипчу»;
 б) колонна с широким основанием «минхоллим кидун»;
 в) колонна с энтазисом «пэхоллим кидун»
 г) прямоугольная колонна «каккидун»

Рисунок 2 – Колонны

В стена, ограда «там» (담). Дверь практически всегда была открыта. Назначение в том, чтобы пропускать гостей в дом, нежели отгородить и изолировать его от окружающего мира. Она была довольно низкой, так что из дома можно было видеть пространство за оградой. Ограда разделяла внешнее пространство дома от внутреннего. Выполняли из земли, камней и черепицы, украшая изящными узорами. В домах крестьян просто сажали по периметру дома кусты, которые впоследствии вырастали в живую изгородь.

Разделительная стена «сэттам» (셋담) использовалась, чтобы разделить между собой различные постройки на территории одного большого дома. Особенно часто такую стену сооружали перед мужской половиной дома.



*Рисунок 2 – Ограда «там»
и разделительная стена «сэттам»*

На цветочных стенах «ккоттам» (꽃담) изображали виноградные гроздья, цветочные узоры, иероглифы, означающие долголетие и счастье. Подобные изображения были призваны привлекать в дом процветание и благополучие. Сверху на стену укладывалась черепица, предназначенная для того, чтобы предотвратить проникновение грязи вместе с дождевой водой, а также добавляющая дополнительный эстетический эффект.

Окна «чан» (창) чаще всего имели прямоугольную форму, но также были в виде круга и полумесяца. По виду нанесённых на ставни узоров различали: «ттисальмун», «писсальмун» и «ккосальмун». Окна изготавливались из нескольких слоёв традиционной корейской бумаги «чханхочжи», она не отделяла внутреннее пространство дома от внешнего, обеспечивала циркуляцию воздуха, пропуская также солнечные лучи (рисунок 3).

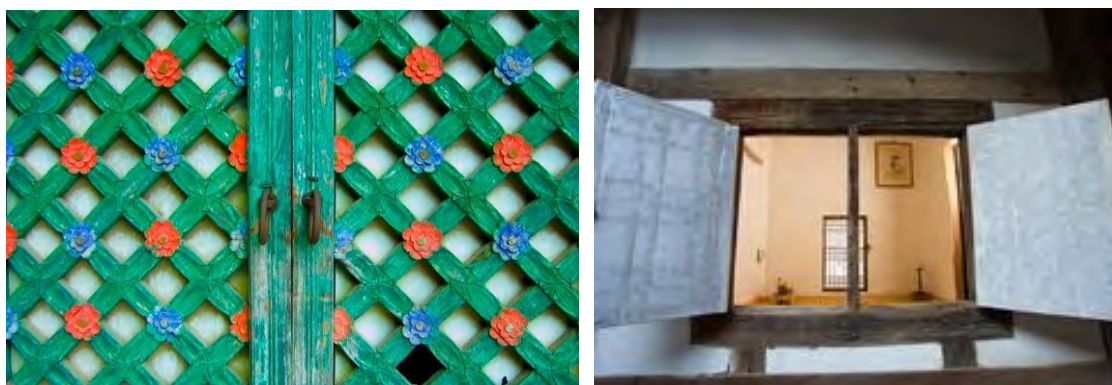


Рисунок 3 – Окна «чан»

Дверь «мун» (문) служит входом в дом, а также одновременно и его защитой. Давались особые имена, которые указывались на табличках над дверями. Главные ворота «тэмун» всегда располагались со стороны фасада дома. Наиболее важными были высокие ворота «сосыль дэмун». Двери, ведущие из одной части дома в другую, называли промежуточными дверями «чунмун». Дверь, ведущая в главный зал «тэчхон мару», называлась «пунхаммун», а задняя дверь «тэчхон мару» и дверь, ведущая на кухню, называлась «пханчжанмун» и обычно изготавливалась из толстых досок.



Рисунок 4 – Дверь «мун»

Рассмотрим особенности деревянных конструкций для поддержания крыши. Каждая из деревянных конструкций, размещаемых на столбах, выполняет свою конкретную функцию и одновременно вносит свой вклад в эстетический облик. Балки и стропила – это горизонтально расположенные конструкции, представляющие собой своего рода скелет крыши. Поперечная балка «по» размещалась по горизонтали между вертикально стоящими столбами и поддерживала крышу, принимая на себя её тяжесть. Самая большая основная балка называется «тэдыльбо», или «тэрян».

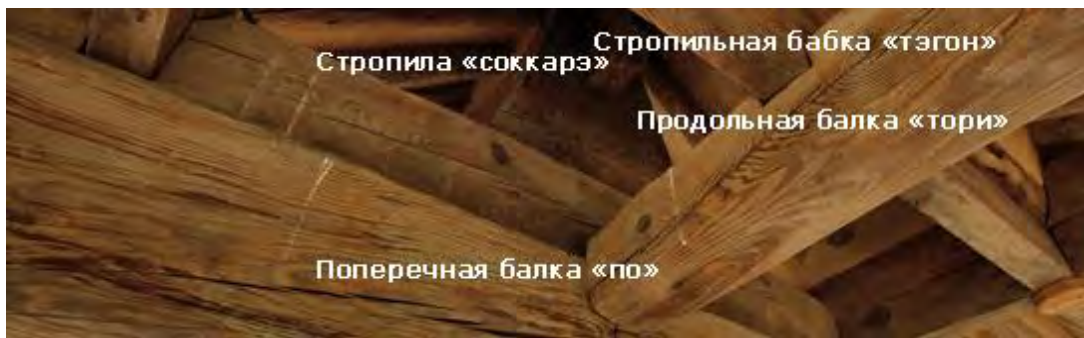


Рисунок 5 – Деревянные конструкции для поддержания крыши

Продольная балка «тори» (도리) поддерживала стропила и размещалась перпендикулярно поперечной балке. Стропила «соккарэ» (서까래) – это несущая система скатной крыши. Их также называют «ёнмок». Они представляют собой тонкие и длинные деревянные доски. Стропильная бабка «тэгон» (대공) – это короткий деревянный столб, предназначенный для поддержания конькового прогона.

Деревянные конструкции, поддерживающие свес крыши «чхома», называются «конпхо» или «пхо». «Конпхо» выполняют функцию распределения веса крыши, приходящегося на поперечные и продольные балки, на поддерживающие столбы.



Рисунок 6 – Деревянные конструкции, поддерживающие свес крыши «чхома»

Свес крыши «чхома» (처마) – это свес или скат крыши, образованный свисающими за пределы столбов стропилами. Летом солнечные лучи не могли проникнуть под навес, и благодаря этому дом всегда оставался в тени. Зимой, когда солнце не поднимается высоко, солнечный свет проникает глубоко под крышу, а солнечное тепло в сам дом. В отличие от двора, обильно залитого солнцем, в доме всегда было прохладно. Также скат крыши обеспечивал хорошую циркуляцию потоков воздуха. Длинный навес мог показаться довольно тяжеловесным и визуально утяжелить дом, поэтому для придания большей лёгкости его выполняли в виде изогнутой, а не прямой линии.

Крыша «чибун» (지붕). Ярким доказательством красоты и изысканности «ханок» является его изогнутая крыша. Плавная изогнутая линия крыши будто повторяет линии гор, она несёт ощущение лёгкости и динамизма.



Рисунок 7 – Крыша «чибун»

Матпэ чибун (맞배지붕) (простейшая форма крыши, имеющая скат по обеим сторонам). Это простейшая двускатная, или шипцовая, крыша, не имеющая углового ската по краям дома. Два ската встречаются друг с другом на самом верху, образуя конёк. Этот вид крыши отличается простотой и лаконичностью формы (рисунок 8а). Пхальчжак чибун (팔작지붕) (восьмиугольная крыша, представляющая собой вариант двускатной крыши с треугольными пристройками по обоим бокам). Эта крыша представляет собой смешанную форму двускатной крыши «матпэ» с четырёхскатной «учжингак». Это самая нарядная крыша, которая имеет конёк «ёнмару», свесы «нэриммару» и плавно загнутые вверх углы «чхунё мару» (риунок 8б).

а)



Матпэ чибун

б)



Пхальчжак чибун

а) Матпэ чибун; б) Пхальчжак чибун

Рисунок 8 – Крыши

Учжингак чибун (우진각지붕) Крыша, имеющая скат по всем четырём сторонам дома (рисунок 9а). Моим чибун (모임지붕). У этой крыши нет конька «ёнмару» или ровно опускающихся вниз скатов «нэрим мару», зато есть скаты, плавно загнутые вверх, «чхунё мару», которые соединяются в одной точке в самом центре крыши. В месте стыковки скатов образуется ендова, желобок, по которому стекает дождевая вода. Обычно крышу такого типа устраивали на беседках или пагодах (рисунок 9б).

а)



Учжингак чибун

б)



Моим чибун

а) «Учжингак чибун»; б) «Моим чибун»

Рисунок 8 – Крыши

Система отопления Ондоль (온돌) – традиционная система обогрева домов в Корее, система тёплого пола использовалась на протяжении тысячелетий. Принцип её работы заключался в следующем: в кухне или во внешней стене комнаты располагалась печь. Под полые комнаты прокладывались горизонтальные полости (туннели) для дыма и горячего воздуха, который проходил по полостям во время сжигания дров в печи. Поверх туннелей клали плоские тонкие камни толщиной в пять – семь сантиметров. Поскольку вблизи печи пол всегда теплее, там использовали более толстые камни, чтобы не допустить потери тепла. Камни покрывали слоем желтой глины, которую затем тщательно выравнивали. В завершении пол обклеивали несколькими слоями желтой промасленной бумаги.

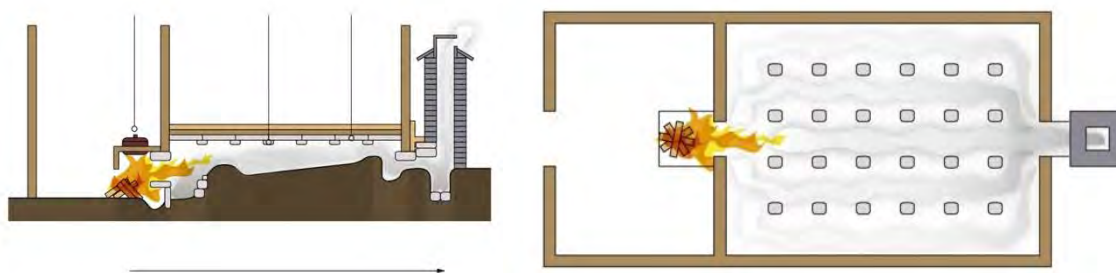


Рисунок 9 – Система отопления Ондоль

Особое устройство системы обогрева пола помогало удерживать тепло в течение долгого времени. Эффективности отопления Ондоль рассчитаны на то, чтобы создать в помещении более высокую температуру, чем необходимо.

Традиционные корейские дома строятся из древесины и поэтому уязвимы: речь о насекомых, плесени и других разрушительных факторах. Недостаток

этой системы состоит в том, что если дымовые ходы имеют повреждения, дым может выйти наружу, вызывая отравление угарным газом, также разница температур в точках, наиболее приближенных к печи, и точках, удаленных от нее.

Ханок – это дом, в котором есть место дереву ветру и солнцу. Он полностью экологичен и энергоэффективен за счет того, что все задействованные материалы природные.

Современная история сполна отыгралась на традиционной корейской архитектуре, но лишь традиционная корейская архитектура знает, как быть в гармонии с окружающим миром, она расцветает вновь, переосмысливая себя и своё место в новом веке и новой жизни.

Список цитированных источников

1. Ханок – радиционный корейский дом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://library-koresaram.com/shop/product/hanok-tradicionnyj-korejskij-dom>. – Дата доступа: 12.03.22.
2. Портал о Сеуле и Корее в целом. Ханок [Электронный ресурс]. – <https://mojseul.ru/xanok>. – Дата доступа: 10.03.22.
3. Традиционный корейский дом – ХАНОК, Южная Корея, Сеул [Электронный ресурс]. – <http://gustur.ru/tradicionnyj-korejskij-dom-xanok-yuzhnaya-koreya-seul>. – Дата доступа: 10.03.22.
4. Ондоль – корейская система обогрева пола [Электронный ресурс]. – <http://texva.ru/informatsionnye-materialy/stati/292/>. – Дата доступа: 10.03.22.
5. Ханок – традиционный корейский дом! [Электронный ресурс]. – <https://bambooclub.livejournal.com/27820.html>. – Дата доступа: 15.03.22.

УДК 624.014.2

Чернявский И. Д.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Зинкевич И. В.

К УСТОЙЧИВОСТИ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ТИПА «СИГМА»

Широкое применение ЛСТК находят во всем мире. Проблеме устойчивости тонкостенных холодногнутых конструкций посвящено множество работ, исследований, публикаций.

Выделяют три основные формы потери устойчивости: местная (local buckling), устойчивость формы поперечного сечения (distortional buckling) и общая (global buckling): изгибная (flexural) и/или крутильная (torsional).

В настоящее время все методы расчета тонкостенных конструкций, как правило, делятся на две основные группы: аналитические и численные.

Отметим, что классификация сечений, принятая в ТКП EN 1993-1-1 и ТКП EN 1993-1-4 для рассматриваемых профилей, непригодна. Так как и в первом (т. 5. 2) так и во втором (тоже т. 5. 2) документах классы сечений определены из условий местной потери устойчивости полкой или стенкой, не имеющими дополнительных элементов жесткости (отгибы, двойные отгибы (краевые элементы жесткости) и внутренние элементы жесткости (выпуклости, канавки).

Для ЛСТК нет понятия класса сечения, а возможная потеря местной устойчивости учитывается исключением из работы части полки и (или) стенки, а возможная потеря устойчивости элементом жесткости называется потерей

устойчивости формы сечения (дисторсионная форма потери устойчивости) и учитывается уменьшением толщины элемента жесткости и прилегающей к нему полки (стенки). И всё это в случае необходимости учитывается в приведенном сечении. Если потери местной устойчивости и устойчивости формы сечения в упругой стадии работы не происходит, то приведенное сечение считается равным исходному.

Для иллюстрации форм потери устойчивости приведем известный рисунок из ТКП EN 1993-1-3 [1].

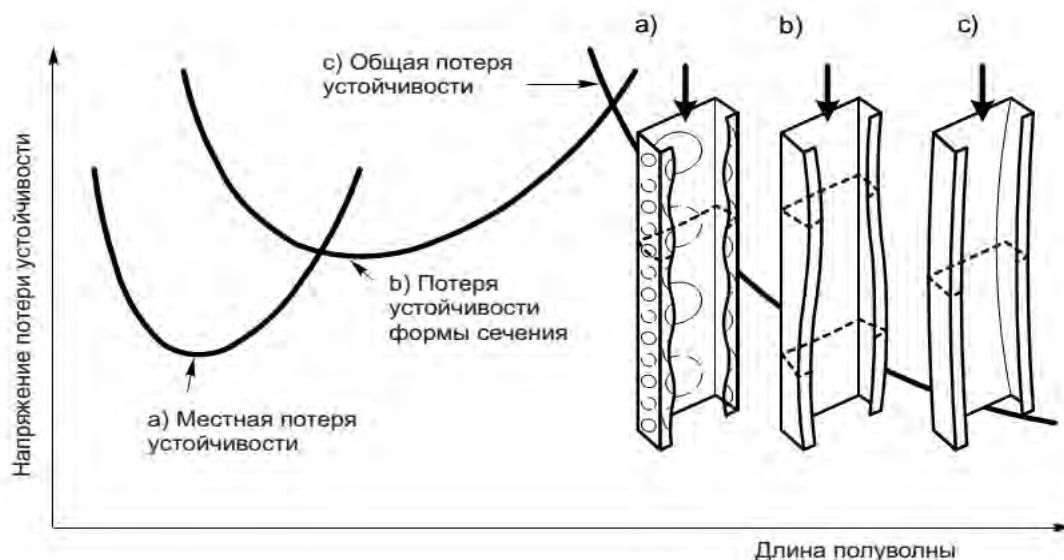
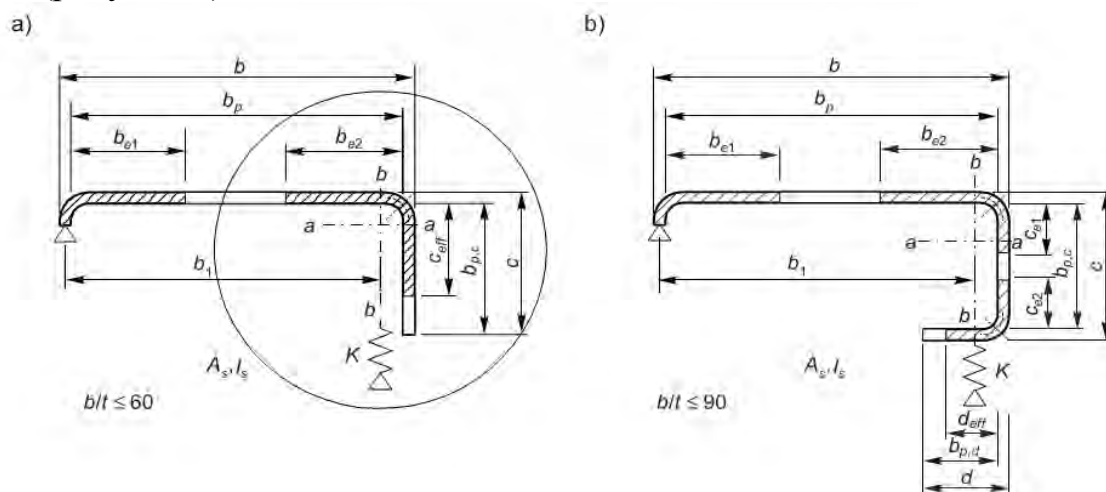


Рисунок 1 – Примеры различных форм потери устойчивости

Для учета потери местной устойчивости используется, как и для обычных профилей, метод «эффективной ширины», который описан в ТКП EN 1991-1-5 [2] с учетом элементов жесткости.

Учет дисторсионной формы потери устойчивости производится уже с приведенным сечением. Определяют коэффициент снижения сопротивления при потере устойчивости формы сечения (изгибная форма потери устойчивости краевого элемента жесткости), используя начальное эффективное сечение элемента жесткости и предполагая наличие непрерывной упруго-податливой опоры (рисунок 5).



a – одиночный отгиб, б – двойной

Рисунок 2 – К учету дисторсионной формы потери устойчивости

При изгибе ригеля с сечением типа «Сигма» для определения характеристик сечения с учетом потери устойчивости формы (дисторсионной) для определения жесткости условной пружины рекомендуется следующая схема, которая часто используется в литературных источниках [3, 4] (рисунок 3). Отметим, что формулы для определения жесткости пружины нормы не дают.

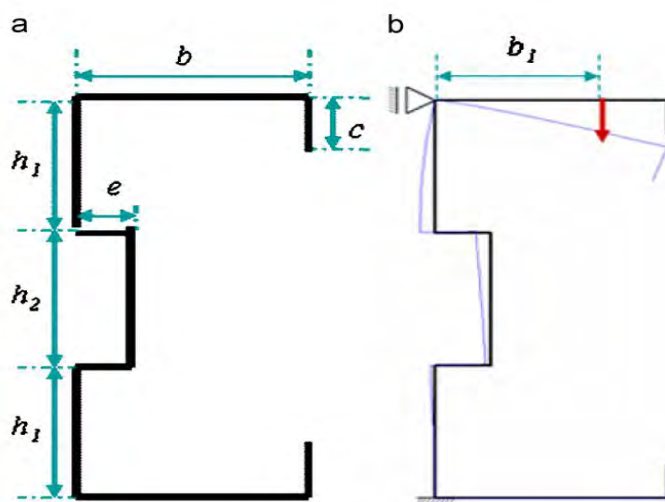


Рисунок 3 – К учету дисторсионной формы потери устойчивости для профилей типа «сигма»

Нами предлагается использовать для определения жесткости МКЭ.

Рассматриваем контур профиля глубиной 1 мм.

Сила 1 Н приложена к полке в точке проекции центра тяжести половины полки и элемента жесткости.

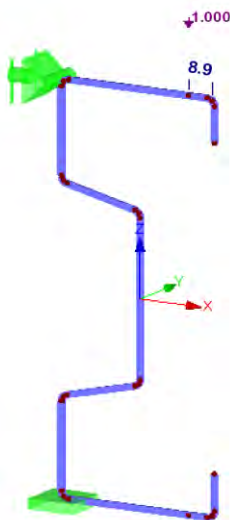


Рисунок 4 – К определению жесткости «пружины» для профиля типа «сигма»

Для проверки нами были испытаны 2 образца из СИГМА-профиля длиной 350 мм и 700 мм. Испытания проводились с помощью пресса гидравлического П-250.

а)



б)



Рисунок 5 – Испытания короткого (а) и длинного (б) образцов

При испытании образца длиной 700 мм наблюдалась потеря устойчивости формы сечения.

Механические характеристики стали профилей определялись в испытаниях вырезанных образцов на растяжение (рисунок 4), результаты приведены в таблице 1.

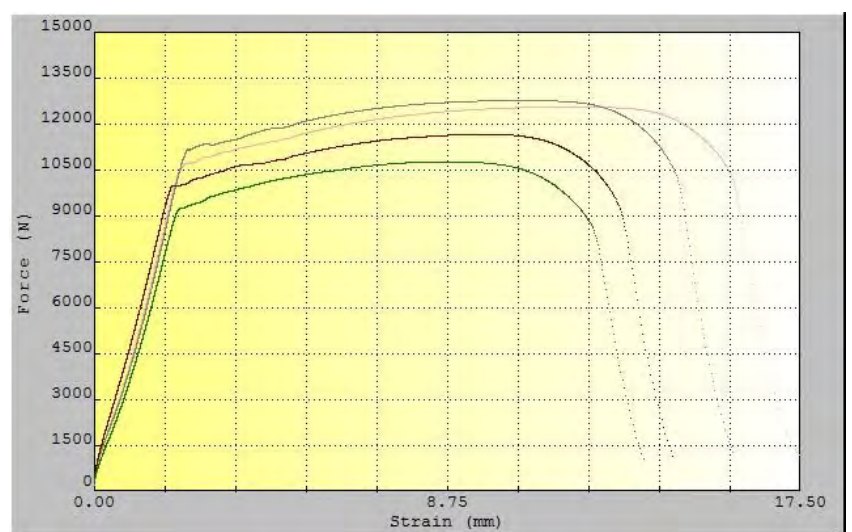


Рисунок 6 – Испытания стали образцов

Таблица 1 – Результаты испытаний стали профилей

	Разр. Нагрузка, Н.	Предел прочности, МПа.	Предел текучести, МПа.	Предел прочности по (3.1)
Образец 1	10751.64	441.47	374.8	665
Образец 2	11647.82	438.13	372.3	602
Образец 3	12749.57	467.67	396.9	668
Образец 4	12542.91	462.34	392.7	633

Теоретические предельные нагрузки определялись по разработанной методике и проверялись в программе Dlubal Shape thin. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний образцов

	Предельная нагрузка экспериментальная, (кН)	Предельная нагрузка теоретическая при пределе текучести 350МПа, (кН)	Предельная нагрузка теоретическая при пределе текучести 374МПа, (кН)	К-т снижения предельной нагрузки Эксп/теор
Об. 350 мм	365	353	358	1/1
Об. 700 мм	320	312	334	0.88/0.884

Выводы

1. Для профилей типа «сигма» потеря устойчивости формы сечения оказывает существенное влияние на несущую способность элементов в целом.
2. Сталь ригелей типа «сигма» имеет значение предела текучести не менее $f_y = 372$ МПа и предела прочности (временное сопротивление) $f_u = 438$ МПа, что превышает значения принятой в проекте стали S350GD+Z по EN 10346, равные соответственно $f_y = 350$ МПа и $f_u = 420$ МПа.
3. При испытаниях коротких стоек разной длины подтверждается зависимость формы потери устойчивости от длины элемента.
4. Сравнение результатов эксперимента с теоретическими результатами дает достаточно хорошее совпадение.

Список использованных источников

1. Проектирование стальных конструкций. Часть 1–3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов: ТКП EN 1993-1-3-2009. Еврокод 3. – Минск : МАиС РБ, 2010. – 114 с.
2. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1–5. Пластинчатые элементы конструкций: ТКП EN 1993-1-5-2009. – Минск : МАиС РБ, 2014. – 51 с.
3. L.-y. Li. An analytical model for analysing distortional buckling of cold-formed steel sections / L.-y. Li, J.-k. Chen // Thin-Walled Structures. – 2008. – 46. – 1430–1436.
4. Distortional buckling of cold-formed steel columns. Research report RP00-1. – August 2000. Revision 2006. – American Iron and Steel Institute.

УДК 69.059

Дробыш А. И.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Шевчук В. Л.

ПОВРЕЖДЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ МОНАСТЫРЯ БЕРНАРДИНОК В ГОРОДЕ БРЕСТЕ

На территории современной Брестской крепости недалеко от Рождество-Богородицкого женского монастыря сохранились руины Бернардинского монастыря.

Бернардинцами назывались члены католического монашеского ордена, названного в честь реформатора Бернара Сиенского. В 1605 году бернардинцами были возведены деревянные постройки, костел и монастырь.

В 1620-х годах вместо деревянного началось строительство каменного костела.

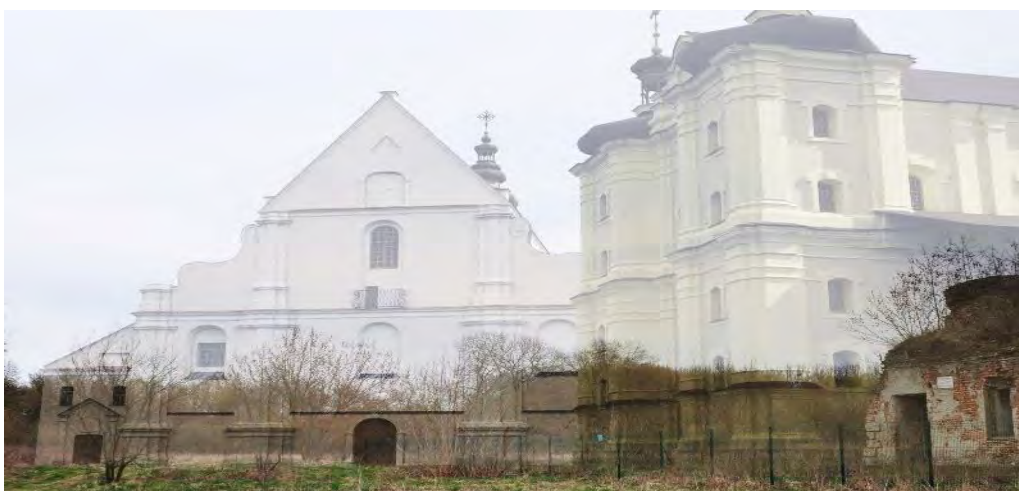


Рисунок 1 – Инсталляция Бернардинского монастыря

После присоединения Беларуси к Российской империи влияние бернардинцев постепенно уменьшилось и почти все их монастыри прекратили деятельность в 1860-е годы. В 1831 году женский Бернардинский монастырь был закрыт. При строительстве крепости Брест-Литовск культовые сооружения приспособили для новых нужд.



Рисунок 2 – Макет: Комплекс Бернардинских монастырей XVII–XVIII вв.

Сильнее всего здание женского монастыря пострадало в 1915 году при отступлении русских войск из Брест-Литовска. Помещение костёла полностью выгорело внутри вплоть до кирпичных стен. Это повлекло за собой дальнейшее разрушение, и где-то в период между 1920 и 1939 годами руины были снесены польскими сапёрами, а келейный корпус был приспособлен под столовую.

В конце 1940-х годов сохранившиеся здания госпиталя были разобраны на кирпичи местными жителями. Келейный корпус монастыря бернардинок от окончательного уничтожения спасло то, что в 1950–1970-х годах его продолжали использовать в качестве столовой для военной части.

На данный момент от Бернардинского монастыря сохранились стены 1-го этажа, его перекрытия, также перекрытия подвальных помещений, стены подвала, фундаменты и частично стены 2-го этажа.



Рисунок 3 – Руины Бернардинского монастыря

На стенах наблюдаются дефекты кирпичной кладки такие как: локальное обрушение и разрушение кладки, разрушение кирпичной кладки над оконными и дверными проемами, выпадение кирпича из клинчатых перемычек.



Рисунок 4 – Дефекты кирпичной кладки

Для снятия действия горизонтального распора использовалось усиление кирпичного свода затяжкой из кованого железа.



Рисунок 5 – Кованная затяжка

Разрушение кладки произошло в результате воздействия атмосферных осадков и замораживании-оттаивании кирпича.

Также одной из причин повреждений является биоразрушение кладки корневой системой деревьев и кустарников.

Помимо вышеуказанных причин необходимо отметить также повреждения кладки во время авиационных бомбардировок в период Великой Отечественной войны.

Имеющиеся дефекты могут сказываться на несущей способности здания, но опасность внезапного разрушения отсутствует. Состояние перекрытий над подвалом неудовлетворительное, свидетельствующее о значительной степени поврежденности конструкции, высокой степени риска для людей в зоне расположения конструкции.

Для решения данных проблем необходимо:

- произвести очистку стен здания и перекрытий от грунта, растительности и деревьев, и их корневой системы;
- устранить обрушившиеся арочные своды;
- произвести ремонт обрушившихся сводов, перекрытий, простенков, арочных и клиновидных перемычек;
- восстановить поверхность кирпичной кладки облицовочного слоя в местах ее разрушения;
- выполнить мероприятия по гидроизоляции и консервации конструкций, подвергающихся атмосферным воздействиям;
- при производстве ремонтных работ рекомендуется применять аутентичные материалы.

Список цитированных источников

1. Берестье – исторический момент. Монастырь бернардинцев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vb.by/society/history/bereste-istoricheskij-moment-monastyr-bernardinczev.html>. – Дата доступа: 10.05.22.

2. Бернардинский монастырь в Бресте (Брестская крепость) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://brestcity.com/blog/bernardinskij-monastyr-v-breste-brestskaya-krepost>. Дата доступа: 12.05.22.

3. Тайны Бернардинского монастыря [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://deletant.livejournal.com/143556.html>. – Дата доступа: 8.05.22.

УДК 625.85

Лесик Б. М.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Тарасевич А. Н.

РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

Существующие теория и методика расчёта жёстких дорожных одежд приведены в ТКП 45-3.03-244-2011.

Жесткие дорожные одежды – дорожные одежды со слоями из материалов с высоким модулем упругости (более 30 000 МПа), к которым, как правило, относят цементобетон и рассчитывают на изгиб.

Дорожная одежда является одним из важнейших составных элементов автомобильной дороги. Затраты на её устройство в ряде случаев достигают 60...70 %

от общей стоимости строительства. Расчёт жёсткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием – сложная комплексная задача, учитывающая большое количество различных компонентов напряжённо-деформированного состояния конструкции. При обосновании параметров основания и покрытия данных дорожных одежд необходимо учесть все факторы, оказывающие разрушающее и изнашивающее воздействие на конструкцию.

Под прочностью понимают свойство материала оказывать в определённых условиях и пределах сопротивление разрушению от различных внешних физических воздействий, сопровождающихся возникновением в нём напряжений. Применительно к дорожным одеждам под прочностью понимают её свойство сохранять сплошность своей поверхности и ровность в допустимых пределах под воздействием многократно повторяющихся нагрузок автотранспортных средств и природно-климатических условий в течение срока службы. Жёсткими дорожными одеждами называют дорожные одежды, в составе которых присутствуют слои, укрепленные минеральными вяжущими. Для расчёта цементобетонных покрытий (и оснований) используется теория работы плит на упругом основании.

В расчетной практике существует около десятка различных моделей грунтовых оснований, наиболее известными из которых являются: модель упругого изотропного линейно-деформируемого полупространства и модель Фусса-Винклера. Можно назвать ряд моделей, которые представляют собой уточнение рассмотренных моделей. К ним относятся: модель П. Л. Пастернака с двумя коэффициентами постели; модель И. И. Черкасова и Г. К. Клейна, в которой отдельно учитываются восстанавливающиеся и остаточные деформации; модель А. П. Синицина и другие.

Модель Фусса-Винклера удобна с позиции её применимости, так как требуется только один параметр грунта – коэффициент постели, или коэффициент пропорциональности между прикладываемой нагрузкой и перемещением грунта. Особенностью этой модели является локальная упругая деформация в месте приложения нагрузки.

В дорожной практике в расчёте цементобетонных покрытий применяется модель упругого изотропного полупространства. Первые исследования отражены в работах учёных из СССР Б. И. Жемочкина, М. И. Горбунова-Посадова, В. И. Кузнецова, О. Я. Шехтер и др.

Модель упругого изотропного линейно-деформируемого полупространства характеризуется модулем упругости грунта или модулем деформации грунта и коэффициентом Пуассона.

Отличительная особенность модели упругого изотропного полупространства заключается в том, что она обладает распределительной способностью, деформации грунта распространяется за пределами штампа. Расчёты показывают, что данная модель даёт более точные расчёты по сравнению с моделью Фусса-Винклера, однако натурные исследования показывают, что деформации затухают значительно быстрее расчетных.

Принятый в Республике Беларусь расчёт цементобетонных покрытий базируется на сопоставлении расчётной прочности бетона на растяжение при изгибе и напряжений, возникающих вследствие приложения нагрузки и изменения температуры.

Критерий прочности дорожных одежд с цементобетонным покрытием имеет вид:

$$K_{\text{пр}} \leq \frac{R_{\text{пу}}^{\text{расч}}}{\sigma_{\text{пт}}},$$

где $K_{\text{пр}}$ – коэффициент прочности (таблица 3 [1]);

$R_{\text{пу}}^{\text{расч}}$ – расчётная прочность бетона на растяжение при изгибе;

$\sigma_{\text{пт}}$ – напряжения растяжения при изгибе, возникающие в бетонном покрытии от действия нагрузки, с учётом перепада температуры по толщине плиты.

Устройство дорожных одежд со сборными покрытиями целесообразно для дорог необщего пользования, в том числе лесных и мелиоративных дорог, а также дорог промышленных предприятий и сельскохозяйственного назначения.

Проектирование дорожных одежд со сборным покрытием ведут, как правило, применяя выпускаемые типовые плиты.

Минимальные размеры плит в плане определяют из условия обеспечения устойчивости работы основания под торцами плит, с учетом или без учета работы стыковых соединений, максимальные размеры – из условия работы плит на монтажные нагрузки.

Основания под сборные покрытия могут устраиваться различных типов.

Расчет выполняют по предельным состояниям, определяющим потерю несущей способности конструкции или эксплуатационной пригодности.

В качестве расчетной схемы нагружения плиты колесом автомобиля принимается гибкий круговой штамп диаметром D , передающий равномерно распределенную нагрузку величиной p .

Значения D и p для групп А1 – А3 расчетной нагрузки приведены в приложении Б [1].

Расчет толщины плит и количества арматуры выполняют исходя из следующих условий:

а) для бетонных плит и элементов сочлененных плит — из условия прочности бетона на изгиб краевых участков плит:

$$K_{\text{пр}} \leq \frac{R_{\text{пу}}^{\text{расч}} * W}{M_{\text{x(y)}}^{\text{кр}}},$$

где W – момент сопротивления плиты;

$M_{\text{x(y)}}^{\text{кр}}$ – изгибающий момент по краю плиты от действия расчетной или монтажной нагрузки;

б) для бетонных плит и элементов с краевым армированием, выдерживающих до появления трещин усилие $0,25 M_{\text{x(y)}}^{\text{кр}}$ за счет арматуры на краевых участках плит шириной $2h$, — из условия прочности бетона в центре плит или элементов:

$$K_{\text{пр}} \leq \frac{R_{\text{пу}}^{\text{расч}} * W}{M_{\text{x(y)}}^{\text{ц}}},$$

где $M_{\text{x(y)}}^{\text{ц}}$ – изгибающий момент в центре плиты;

в) для предварительно напряженных плит или сечений на действие монтажных нагрузок — по прочности напряженного бетона на растяжение при изгибе с одновременной работой на изгиб напряженной арматуры (1-я стадия) и по прочности на изгиб с появлением узких трещин (2-я стадия).

При действии колесных нагрузок дополнительно расчет ведут исходя из условий работы арматуры в узких трещинах в качестве штырей (3-я стадия).

Изгибающие моменты определяют при приложении нагрузки в центре, на краю, на углу и на торце, в продольном и поперечном направлениях.

Расчетную длину L_x^u ширину L_y^u эпюр отпора основания определяют по формулам в случае приложения нагрузки:

— в центральной части плиты

$$L_x^u = 2.5 l_y^x + a,$$

$$L_y^u = 2.5 l_y^y + b,$$

— на торце и на углу с обратным выгибом

$$L_x^r = 0.7 L_x^u,$$

$$L_y^r = 0.7 L_y^u,$$

где a и b — полудлина и полуширина отпечатка колеса, отнесенные к нейтральной линии плиты.

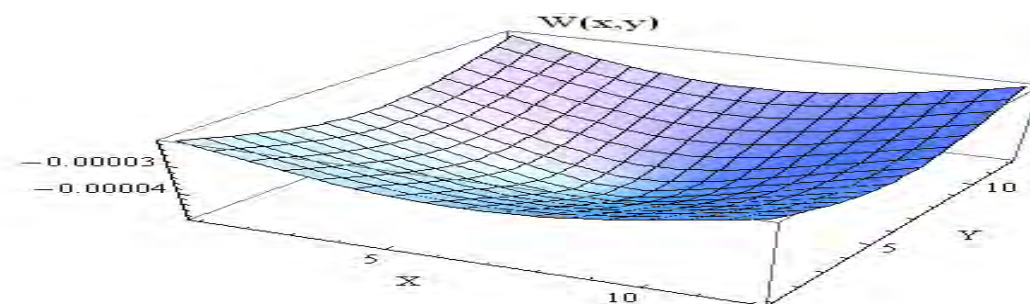
Величины $L_x^u, L_y^u, L_x^r, L_y^r$ ограничиваются размерами плит.

Причем $L_x^u, L_y^u \leq A$; $L_x^r \leq B$; $L_y^r \geq 2B$.

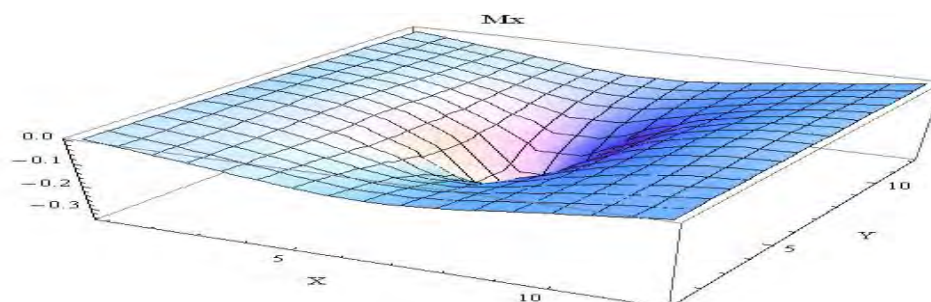
Прогибы и изгибающие моменты, рассчитанные на программном пакете «МАТЕМАТИКА»:

а) нагрузка в центре плиты:

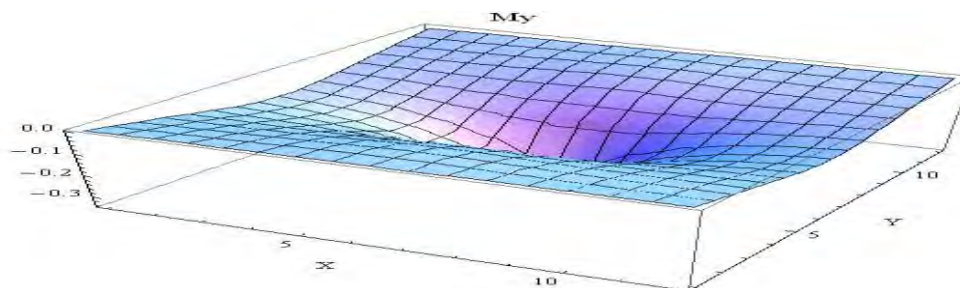
— прогиб



— изгибающий момент в продольном направлении

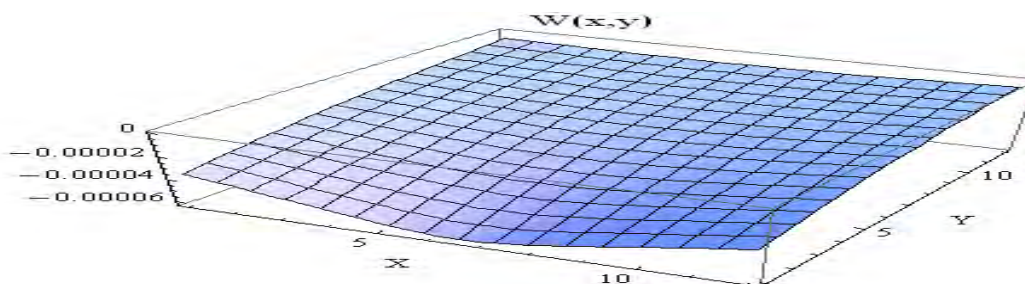


— изгибающий момент в поперечном направлении

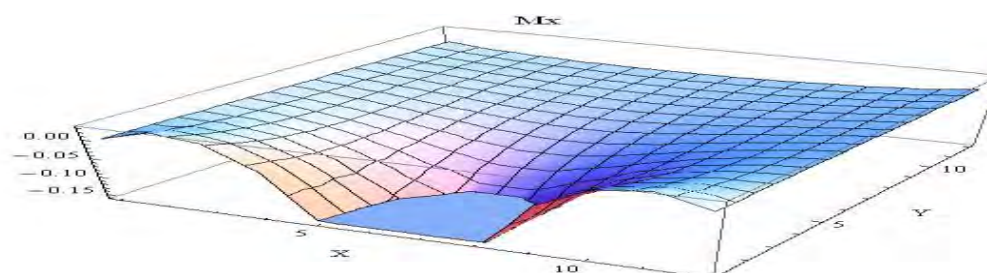


б) нагрузка на краю плиты:

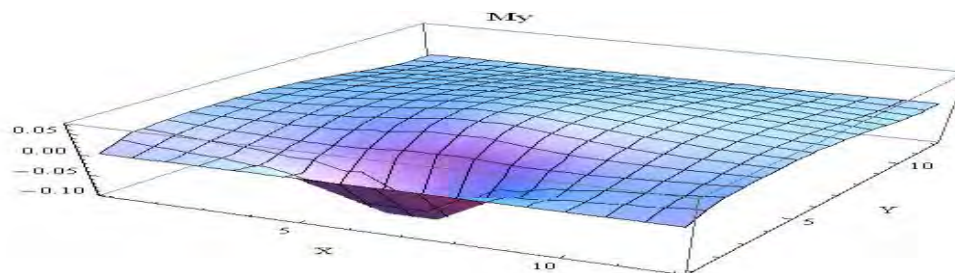
— прогиб



— изгибающий момент в продольном направлении

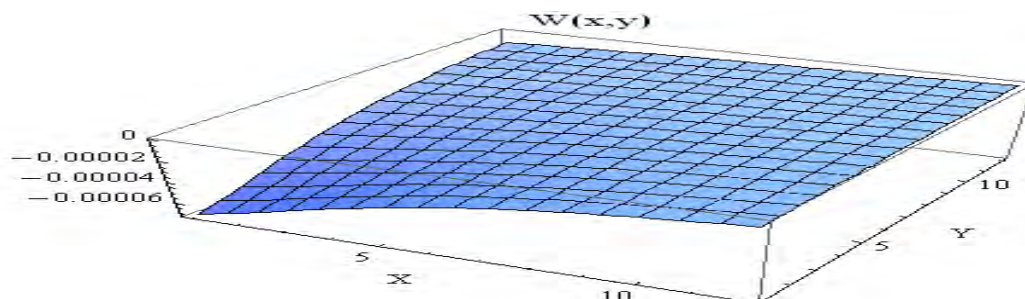


— изгибающий момент в поперечном направлении

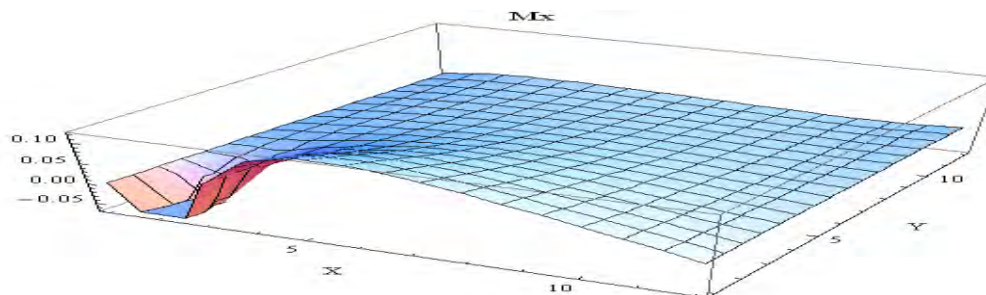


г) нагрузка на углу плиты

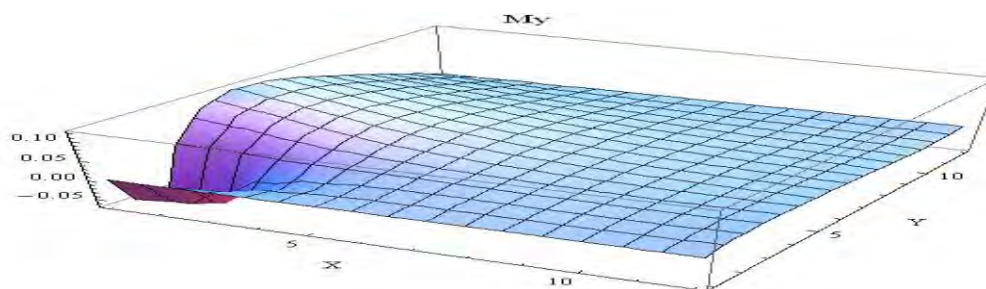
— прогиб



— изгибающий момент в продольном направлении



— изгибающий момент в поперечном направлении



Список использованных источников

1. Автомобильные дороги. Дорожные одежды жесткого типа. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.03-244-2011. – Введ. 07.12.2012. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2012. - 90 с.
2. Дорожные одежды жесткого и полужесткого типа автомобильных дорог. Строительные правила: СП 3.03.01-2020. – Введ. 07.12.2020. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. - 51 с.

УДК 693.22

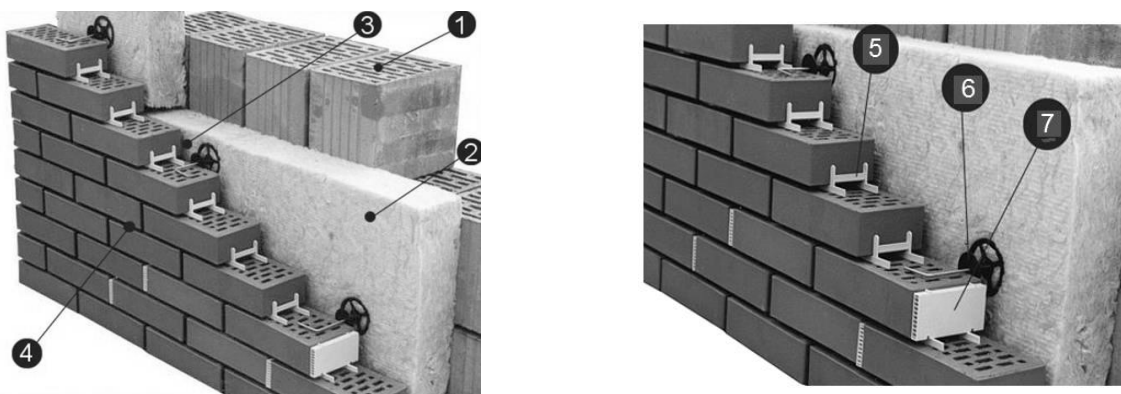
Костюк А. А., Крук А. В.

Научный руководитель: профессор, д. т. н., доцент Деркач В. Н.

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА И УСИЛЕНИЯ ОБЛИЦОВОЧНОГО СЛОЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КАМЕННЫХ СТЕН

ВВЕДЕНИЕ

С середины 90-х годов прошлого столетия в связи с ужесточением нормативных требований к сопротивлению теплопередач ограждающих конструкций зданий в Республике Беларусь широкое применение получили многослойные стены с воздушной прослойкой и слоем теплоизоляции. Наружный слой каменной кладки в таких стенах, как правило, выполняют из облицовочного кирпича (рисунок 1).



1 – основной слой; 2 – утеплитель; 3 – вентилируемый воздушный зазор;
 4 – облицовочный слой; 5 – полимерная подкладка для выравнивания толщины швов облицовочного слоя; 6 – анкерная связь;
 7 – полимерное фасонное изделие для устройства вентиляционных отверстий
Рисунок 1 – Конструкция многослойной стены с облицовочным слоем

Проектирование и возведение многослойных стен не было подкреплено соответствующей нормативной базой, поэтому многие технические решения были слепо заимствованы за рубежом и в первую очередь из европейских стран, где такие стены начали широко внедряться на 20–30 лет ранее. Эксплуатация слоистых стен особенно в многоэтажном каркасно-монолитном домостроении уже в первые 3–5 лет выявила ряд серьезных недостатков, которые во многих случаях приводили к повреждению облицовочного слоя [1–7] (рисунок 2).



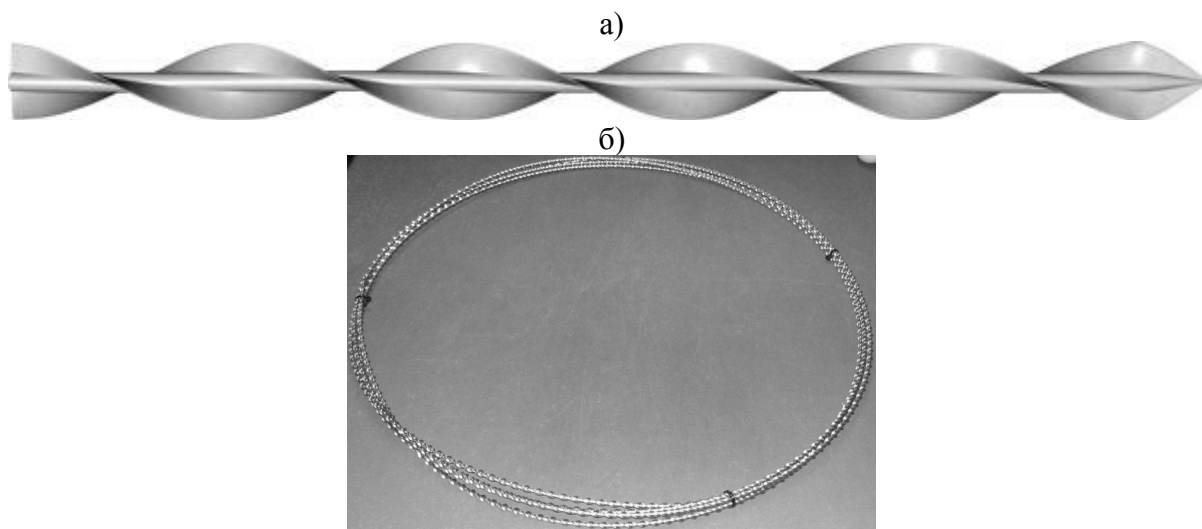
а) трещины в облицовочном слое; б) раздробление облицовочного кирпича
Рисунок 2 – Характерные повреждения облицовочного слоя многослойных стен

На сегодняшний день одним из актуальных вопросов является выбор оптимальных методов ремонта и усиления поврежденного облицовочного слоя в зданиях с многослойными ограждающими конструкциями. Попытка устранения дефектов и повреждений в облицовочном слое многослойных стен выявила отсутствие методики ремонта и неэффективность применения существующих технологий восстановления кирпичной кладки (инъектирование кладки полимерцементными растворами, усиление растворной обоймой, «лечение» кладки путем расшивки и зачеканки трещин, замена поврежденных участков и т. п.). В качестве решения проблемы ремонта облицовочного слоя может выступать его армирование и анкеровка с использованием специальных ремонтных гиб-

ких спиралевидных стержней из аустенитной нержавеющей стали, или внешнее армирование композитными материалами.

АРМИРОВАНИЕ И АНКЕРОВКА ОБЛИЦОВОЧНОГО СЛОЯ

Спиралевидные стержни (рисунок 3) изготавливаются из аустенитной нержавеющей стали марок 304 или 316, соответствующей требованиям СТБ EN 10088-2. Длина стержней Sure Twist составляет от 200 мм до 10 м, поставка стержней длиной более 2 м осуществляется в мотках.



а) общий вид стержня (анкера); б) моток со стержнем длиной 10 м

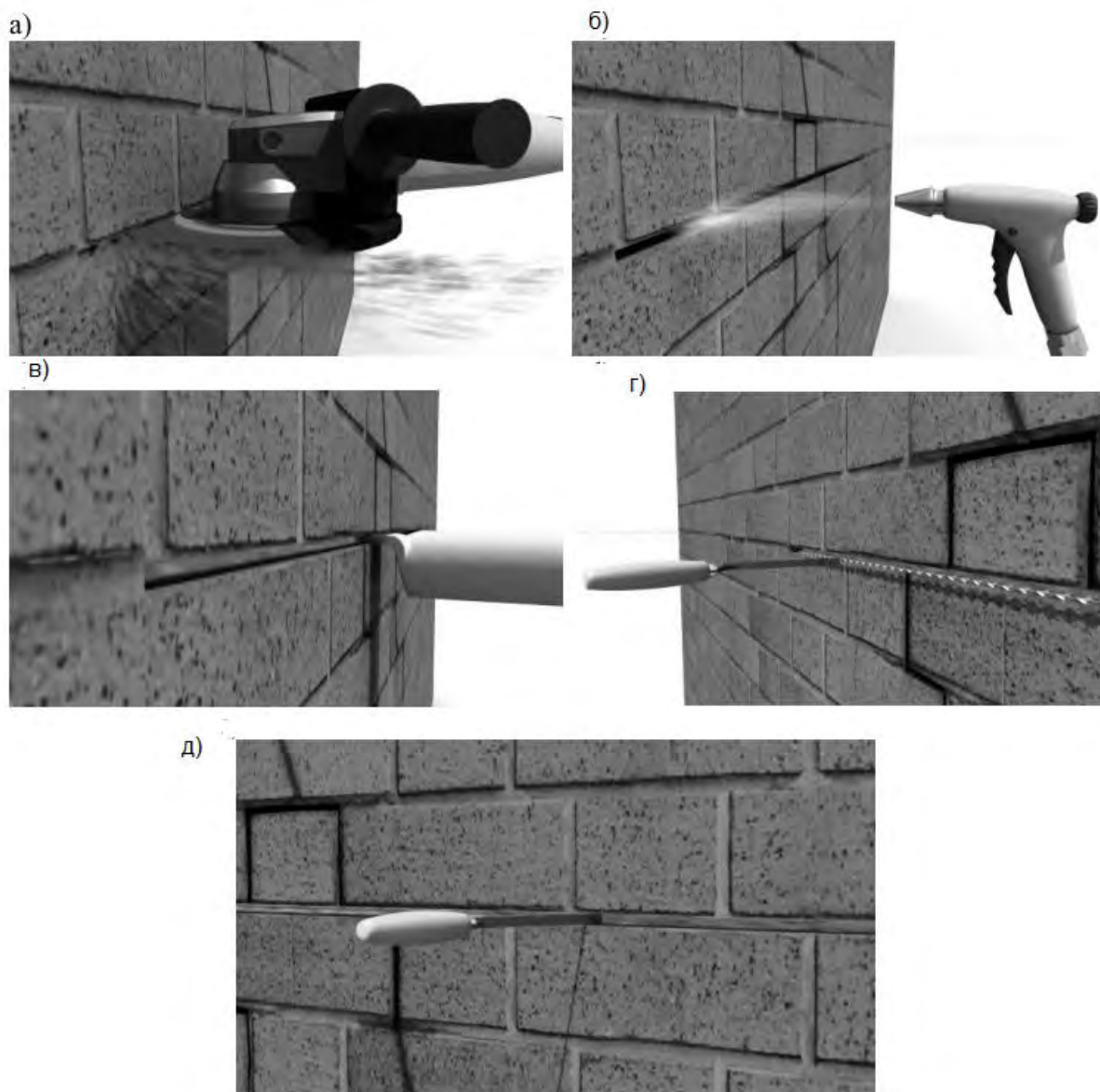
Рисунок 3 – Спиралевидный стержень

Для усиления каменных конструкций применяются спиралевидные стержни диаметром 3,0; 4,5; 6,0; 8,0; 10,0 и 12,0 мм. Спиралевидные стержни допускается укладывать внахлест, изгибать и соединять между собой при помощи вязальной проволоки. Установка спиралевидных стержней производится в предварительно дозированный в заводских условиях специальный раствор, а также «насухо» путем забивки стержней в лидерные отверстия, высверленные в кладке. Исходные составляющие раствора смешивают согласно инструкции в соответствии с требованиями и условиями изготовителя.

Спиралевидные стержни устанавливают в предварительно выпиленные в каменной кладке борозды (штрабы) или высверленные в ней отверстия. Штрабы могут быть выполнены как по горизонтальным швам кладки, так и непосредственно по кирпичу.

Увлажнённые штрабы и отверстия заполняют специальным раствором при помощи инъекционного пистолета. Раствор укладывают в штрабы в два слоя: первый слой толщиной 10 мм, в который утапливают спиралевидные стержни, и второй защитный слой толщиной 10 мм. После укладки второго слоя раствора производят его уплотнение при помощи плоского шпателя (расшивки). При необходимости спиралевидные стержни в штрабе фиксируют с помощью фиксаторов из нержавеющей стали. Последовательность выполнения работ по армированию кладки стержнями при установке их в штрабы показана на рисунке 4.

В отверстия, заполненные раствором, стержни устанавливают путем их за-
винчивания.



- а) прорезка штрабы; б) очистка штрабы и увлажнение кладки;
в) укладка первого слоя раствора; г) установка спиралевидных стержней;
д) укладка защитного слоя раствора*

***Рисунок 4 – Установка спиралевидных стержней
в штрабы, предварительно выпиленные в каменной кладке [8]***

Для предотвращения появления новых или развития образовавшихся трещин, обусловленных температурными воздействиями, выполняют армирование облицовочного слоя угловых зон многослойных стен в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 5. Шаг спиралевидных стержней, установленных в горизонтальные швы кладки, по высоте стены в этом случае должен составлять не более 250 мм. Перпендикулярно плоскости стены устанавливают спиралевидные стержни с утолщенным сердечником. Указанные стержни должны располагаться через три ряда кладки по высоте облицовочного слоя.

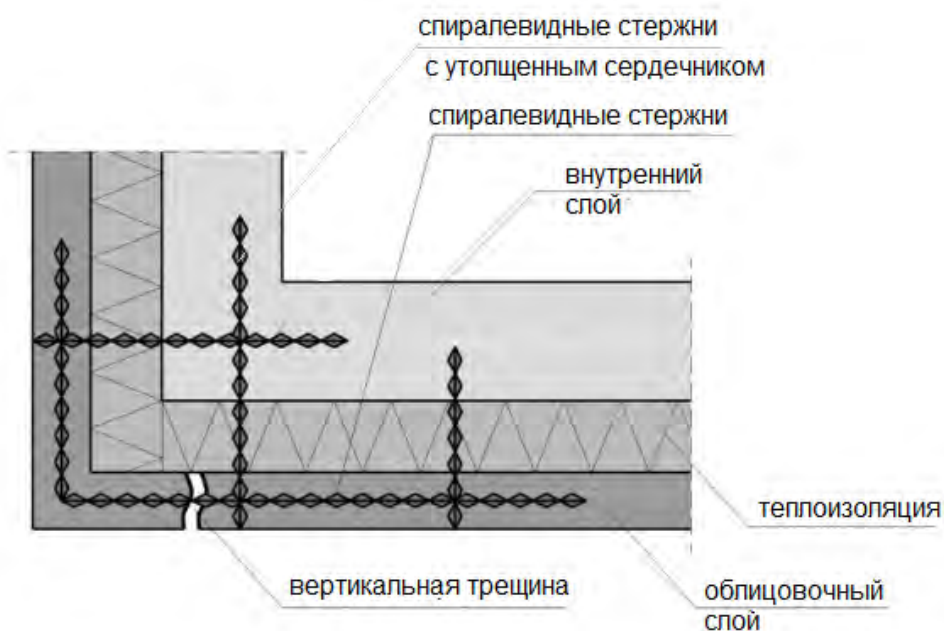


Рисунок 5 – Соединение слоев многослойных стен в угловой зоне

ВОССОЗДАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

Основной причиной образования вертикальных трещин в облицовочном слое является отсутствие в нем деформационных швов. Поэтому действенным методом предотвращения повреждений трещинами кладки облицовочного слоя является воссоздание вертикальных деформационных швов. Реализация этого мероприятия возможна путем разрезки лицевого слоя с помощью дисковых либо специальных цепных пил. При этом вертикальные швы прежде всего следует устраивать в угловых зонах фасадов, где температурные деформации лицевого слоя достигают максимальных значений. В плоской части фасадов вертикальные швы обычно совмещают с откосами оконных проемов. Максимальное расстояние между вертикальными деформационными швами для кладки из силикатного кирпича составляет 8м, а для кладки из керамического кирпича – 12м.

Устройство вертикальных деформационных швов в облицовочном слое многослойных стен из каменной кладки следует выполнять с применением горизонтальных податливых анкерных связей из спиралевидных стержней. Анкерные связи устанавливаются в горизонтальные швы кладки, при этом один конец связи жестко закрепляется в кладке при помощи полимерцементного раствора. Другой конец связи имеет податливое крепление, которое обеспечивается путем установки связи в пластиковую трубку. Монтаж связей выполняется в подготовленные горизонтальные швы на глубину 50 мм от наружной поверхности стены. Для восприятия температурных деформаций при расширении участка облицовки расстояние от свободного конца трубки до стержня должно составлять от 30 до 40 мм. После установки стержней горизонтальные швы заполняются специальным ремонтным раствором. Анкерные связи с утолщенным сердечником устанавливаются перпендикулярно плоскости стены в предварительно высверленные отверстия через три ряда по высоте облицовочного слоя (рисунок 6).

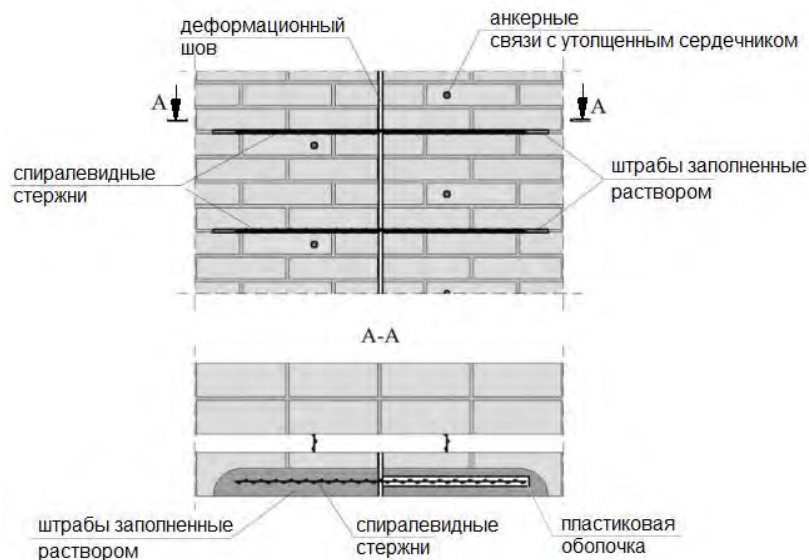
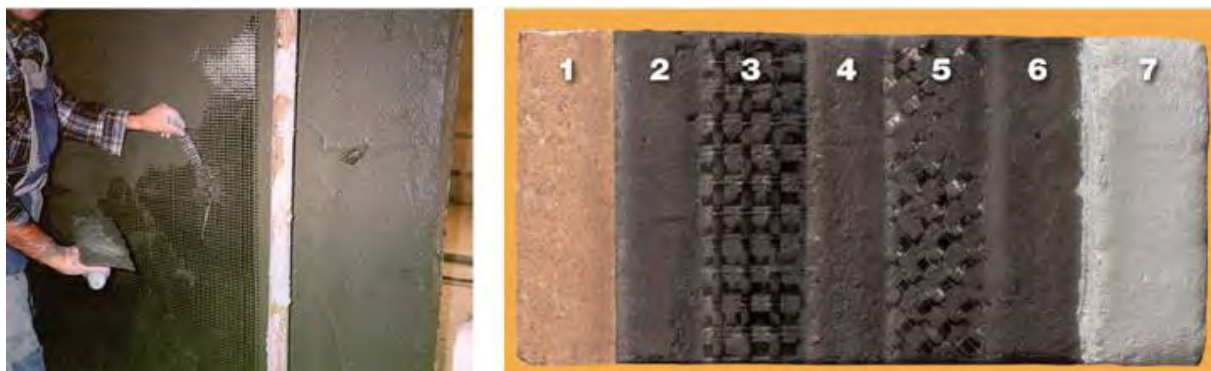


Рисунок 6 – Армирование облицовочного слоя при устройстве вертикального деформационного шва

ПОВЕРХНОСТНОЕ АРМИРОВАНИЕ ОБЛИЦОВОЧНОГО СЛОЯ

Поверхностное армирование облицовочного слоя композитными материалами следует применять при его сильной деградации (например, раздроблении пустотелого облицовочного кирпича). Технология усиления при этом заключается в следующем. На очищенную от штукатурки и загрязнений поверхность каменной кладки после ее увлажнения наносится слой клеящего штукатурного раствора толщиной 3 мм, в который втапливается армирующая сетка из композиционных материалов. Затем наносится защитный штукатурный слой толщиной 8–10 мм, поверхность которого подвергается финишной обработке. При необходимости в защитный слой может втапливаться вторая сетка, обеспечивающая повышенную прочность усиления (рисунок 7). Данная система усиления известна за рубежом как FRCM (с английского Fibre Reinforced Cementitious Matrix) [3].



*1 – кладка; 2 – первый слой раствора; 3 – композитная сетка;
4 – второй слой раствора; 5 – композитная сетка, уложенная под углом 45°;
6 – третий слой раствора; 7 – финишная отделка*

Рисунок 7 – Система поверхностного армирования FRCM

Рассматриваемая система обладает следующими достоинствами:

- простотой технологии;
- высокой сцепляемостью армирующего штукатурного слоя к поверхности усиливаемой каменной кладки;
- высокой компатибельностью системы усиления с кирпичной кладкой, т. е. сближенными деформационными характеристиками, такими как модули упругости, коэффициенты температурного расширения;
- высокой огнестойкостью и коррозионной стойкостью, паропроницаемостью и водостойкостью.

При ремонте и усилении облицовочного слоя системой FRCM необходимо выполнение предварительных работ по избежанию дальнейшего влияния температурных деформаций и других воздействий на лицевой слой – его разрезка деформационными швами и дополнительная анкеровка к внутреннему слою стены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор конкретного способа ремонта и усиления облицовочного слоя многослойных стен требует индивидуального подхода. Определяющими здесь могут быть форма фасада здания, наличие балконов и лоджий, величина и частота расположения оконных и дверных проемов, примененные во время строительства материалы и технологии, а также ряд других факторов. Принимаемые способы ремонта и усиления должны быть научно обоснованы. Их выбору обязательно должны предшествовать тщательное обследование стен, их вскрытие с целью выявления соответствия примененных материалов и технологий проектным решениям, которые в свою очередь должны быть подвергнуты всестороннему анализу.

Список литературы

1. Орлович, Р. Б. О облицовочном слое слоистых каменных стен / Р. Б. Орлович, В. Н. Деркач, А. Я. Найчук // *Строительство и архитектура*. – 2010. – № 5. – С. 78–80.
2. Ищук, М. К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки / М. К. Ищук. – М. : РИФ «Стройматериалы», 2009. – 360 с.
3. Деркач, В. Н. Каменные и армокаменные конструкции. Оценка технического состояния, ремонт и усиление / В. Н. Деркач – Минск : «СтройМедиаПроект» 2021. – 256 с.
4. Лобов, О. И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий / О. И. Лобов, А. И. Ананьев // *Жилищное строительство*. – 2008. – № 8. – С. 48–52.
5. Блажко, В. П. Наружные многослойные стены с облицовкой из кирпича в монолитных зданиях / В. П. Блажко // *Жилищное строительство*. – 2009. – № 8. – С. 6–7.
6. Деркач, В. Н. Вопросы качества и долговечности облицовки слоистых каменных стен / В. Н. Деркач, Р. Б. Орлович // *Инженерно-строительный журнал*. – 2011. – № 2. – С. 23–27.
7. Деркач, В. Н. Механизм повреждаемости несущей облицовки многослойных каменных стен / В. Н. Деркач, И. Е. Демчук, Р. Б. Орлович // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. – 2017. – № 3 (54). – С. 63–70.
8. Рекомендации по усилению каменных конструкций спиралевидными стержнями Sure Twist из аустенитной нержавеющей стали: Р 5.02.168. – 2017. – Введ. 10.01.2018. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2017. – 65 с.

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ ДЛЯ BIM-ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Под термином BIM подразумевается такой подход к жизненному циклу объекта моделирования, при котором в информационной модели объекта (изначально – здания) собирается и хранится вся необходимая конструкторская, технологическая, экономическая и другая информация о составляющих его взаимосвязанных элементах. При использовании BIM информация о модели позволяет автоматически создавать чертежи и отчеты, выполнять анализ проекта, моделировать график выполнения работ, управлять эксплуатацией объектов и т. д. Таким образом, коллективу проектировщиков и строителей предоставляются неограниченные возможности для принятия наилучшего решения с учетом всех имеющихся данных. При этом инженерная цифровая модель местности (ИЦММ) является одной из важных составляющих информационной модели объекта и проходит сквозь весь жизненный цикл сооружения.

Создание ИЦММ для строительства автомобильных дорог имеет ряд особенностей: массив цифровой топографо-геодезической информации на каждом этапе изысканий получен с различной точностью в различных системах координат в результате цифровой фотограмметрической обработки материалов аэрофото- и космической съемки, наземной автоматизированной топографической съемки, оцифровки картографических материалов или автоматизированной генерализации топографической информации для создания ИЦММ мелких масштабов из более крупных масштабов; большая протяженность трасс линейных сооружений требует создание единого координатного пространства; наличие множества пересечений накладывают дополнительные требования к точности и полноте топографической информации и др.

В настоящее время в Республике Беларусь требования к проведению инженерно-геодезических изысканий и созданию инженерно-топографических планов (и только отчасти ИЦММ) регламентируются нормативными документами [1–3], которые не всегда согласованы между собой. Таким образом, цель работы заключается в следующем: обобщить требования к информационной модели дороги (ИМД) и программному обеспечению и к методам съемок и созданию ИЦММ на каждом этапе инженерно-геодезических изысканий для строительства, капитального ремонта и реконструкции автомобильных дорог с применением BIM-технологий.

Сформулируем требования к информационной модели автомобильной дороги. Для решения задач, возникающих на разных этапах жизненного цикла, помимо собственно информации о геометрии дороги (план, продольный профиль, поперечные профили), информационная модель должна включать в себя:

- инженерную цифровую модель местности (рельеф, геологию, инженерные коммуникации, ситуацию и т. д.) либо ссылку на ИЦММ, хранящуюся отдельно;

- используемые конструкции дорожной одежды и участки их применения;
- местоположение и описание объектов инженерного обустройства;
- другую информацию, позволяющую автоматизировать рабочие процессы на разных стадиях жизненного цикла автомобильной дороги и повышать производительность сотрудников, имеющих доступ к ИМД.

Для того чтобы ИМД действительно помогала оптимизировать рабочие процессы, необходимо программное обеспечение, которое умеет взаимодействовать с этой моделью, т. е. может редактировать модель, извлекать из нее нужную информацию и визуализировать в различных представлениях, формировать чертежи, ведомости и другие выходные документы.

Требования к программному обеспечению следующие:

1. Используемое для работы с моделью программное обеспечение должно иметь возможность обнаруживать недопустимые с точки зрения норм проектирования, строительства или эксплуатации коллизии объектов модели.

2. Программное обеспечение должно обеспечивать работу со средой общих данных для возможности оперативного взаимодействия специалистов, использующих модель в своей работе.

3. Создаваемая ИМД должна быть параметризированной – изменения можно вносить в любую часть модели в любое время, при этом зависящие от сделанных изменений элементы модели автоматически должны изменяться в соответствии с заданными в модели правилами.

4. Программное обеспечение должно уметь обеспечивать обмен данными модели с другими программными продуктами посредством стандартизированных форматов данных (или ИМД должна быть совместимой со стандартизированными форматами данных).

Выбор того или иного программного обеспечения на каждом из этапов зависит от многих факторов – это и вид проектной деятельности, и масштабы реализуемых проектов, а иногда и просто сложившиеся в организации традиции. Производители программных комплексов стараются собрать технологическую цепочку из собственных программных продуктов, которая обеспечила бы использование единой модели объекта на разных стадиях жизненного цикла. Однако во многих случаях для выполнения всех проектных работ в организации бывает недостаточно использования программ, разработанных одной компанией, и тогда используются несколько программ разных разработчиков в комплексе. Более того, скорее всего, в дорожной отрасли необходимы комбинированные решения САПР и ГИС.

Наиболее популярны в России и в Республике Беларусь программные комплексы для инфраструктурного проектирования и строительства «КРЕДО» (СП «Кредо-Диалог», г. Минск), IndorCAD («ИндорСофт», г. Томск), «Топоматик Robur» (НПФ «Топоматик», г. Санкт-Петербург), AutoCAD Civil 3D (Autodesk, США).

В настоящее время одним из требований к САПР автомобильных дорог становится декларация «BIM-совместимости». Однако четких критериев, позволяющих отнести ту или иную систему к «BIM-совместимой», нет. Все разработчики программного САПР выделяют следующие функции: автоматическое формирование ведомостей, возможность обмена данными между программными продуктами посредством LandXML, работа (и хранение данных) в облаке, параметрическая модель данных.

Из перечисленных выше российских САПР наиболее близки к «ВМ-совместимости» разработки компании «ИндорСофт», поскольку они представляют собой целый спектр непротиворечивых решений для всех стадий жизненного цикла дороги от проектирования до строительства и эксплуатации. Системы «Топоматик Robur» и «КРЕДО» также могли бы претендовать на титул «ВМ-совместимости», т. к. имеют параметрические модели, формируют ведомости. Одним из общих недостатков этих систем является не доработка экспорта в IFC в плане передачи атрибутивной информации и возможности настройки экспорта в IFC. Учитывая, что «КРЕДО» и «Топоматик» – динамично развивающиеся компании, уделяющие большое внимание развитию ВМ-проектирования, вышеуказанные недостатки в ближайшее время будут устранены.

Жизненный цикл автомобильной дороги как физического объекта – это последовательность процессов существования объекта от замысла до ликвидации. Его принято делить на крупные стадии, внутри которых выделяются отдельные этапы (последовательные технологические работы, завершающиеся неким результатом – информационной моделью определенного вида) и процессы (непрерывные работы/процедуры, длящиеся в течение стадии и использующие/обновляющие информационную модель). Зачастую информационная модель, подготовленная на одном из этапов проектирования, если не полностью теряется, то как минимум существенно «теряет в весе» при переходе к другому.

На различных стадиях инженерных изысканий используются картографические материалы различных масштабов от 1:100 000 на предпроектной стадии до 1:200 на стадии рабочих чертежей.

Например, топографо-геодезические изыскания на стадии подготовки предпроектной документации выполняют преимущественно в камеральных условиях в пределах полосы варьирования трассы, которая по ширине может достигать до 1/3 длины трассы. Варианты могут различаться количеством искусственных сооружений, объемом земляных работ, предварительной стоимостью и иметь существенные различия в плановой геометрии. Поэтому выполнение инженерных изысканий в полном объеме на всю территорию, где возможно прохождение варианта автомобильной дороги, нецелесообразно.

Так, для получения наглядной информации на данной стадии проектирования можно подключать интернет-карты из публичных источников, например сервис «Космоснимки». Регулярная модель поверхности также может быть загружена из интернета из публичных данных, например SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). ГП «Белгеодезия» на всю территорию Республики Беларусь созданы ортофотопланы в масштабах 1:10 000 (на территорию административных районов) и 1:2000 на территории населенных пунктов, которые рекомендуется использовать на предпроектной стадии. Для получения подробной информации по изображению ситуации и рельефа наиболее целесообразно использовать дистанционные методы съемки: использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), воздушное лазерное сканирование, а при невозможности их применения – топографическую съемку. По полученным материалам должна быть создана ИЦММ. Требования к выбору масштаба съемки и методам получения пространственной информации на предпроектной стадии приведены в таблице.

Таблица – Требования к выбору масштаба и методам получения пространственной информации

Назначение	Масштаб	Метод получения пространственной информации
Для получения наглядной информации	1:100000 1:50000	публичные интернет-ресурсы, геопривязанные растровые топографические карты
Для получения предварительной информации (анализ рельефа и изображения ситуации)	1:50000 1:25000	данные ДДЗ среднего разрешения, геопривязанные растровые и векторные топографические карты
Для получения подробной информации по изображению ситуации и рельефа, определение эталонных и сложных участков трассы предварительного местоположения полосы отводы	1:20000 1:15000 1:10000 1:5000 1:2000	данные ДДЗ среднего разрешения данные ДДЗ высокого разрешения (не хуже 1 м) и сверхвысокого разрешения (0,3–0,5 м), ортофотопланы съемка с БПЛА (пространственное разрешение 5–20 см), ортофотопланы

Эффективно на этой стадии можно использовать данные земельно-информационной системы (ЗИС) Республики Беларусь. Она создаётся в формате базы геоданных ArcGIS в масштабе 1:2 000 на территорию крупных населённых пунктов и масштаба 1:10 000 на остальную территорию и состоит из пространственных и атрибутивных данных землеустроительного, земельно-кадастрового и топографического содержания. Заказать материалы ЗИС можно на любой фрагмент территории как в полном составе, так по отдельным слоям [6].

Стадия проектирования начинается с инженерных изысканий, результатом которых является сформированная ИЦММ, содержащая более точную, чем на этапе планирования, цифровую модель рельефа, модель ситуации, модель геологии, модель инженерных коммуникаций и другую информацию, важную для принятия проектных решений. Масштабы топографических съемок варьируются от 1:5000 для равнинной местности до 1:200 (на застроенной территории, в местах пересечения водотоков, автомобильных и железных дорог, на площадках под искусственным сооружением). Из дистанционных методов получения пространственной информации в масштабе 1: 500 и 1:1000 можно рекомендовать применение крупномасштабной аэрофотосъемки с пространственным разрешением 5–20 см в комбинации с наземным лазерным сканированием. На стадии подготовки рабочей документации должны быть получены дополнительные топографо-геодезические материалы и данные, необходимые для уточнения и детализации проектных решений. Топографо-геодезические изыскания выполняют, как правило, в масштабах 1:500 и 1:200 в случаях изменения ситуации; недостаточности данных изысканий, выполненных ранее; на сложных и проблемных участках трассы (оползневые участки, районы развития карста, подрабатываемые территории и т. д.). Здесь рекомендуется применение наземных методов топографической съемки (наземное лазерное сканирование и тахеометрическая съемка с использованием электронных тахеометров).

При использовании традиционного подхода собственно проектирование начинается только после полного окончания формирования ИЦММ, что неизбежно приводит к существенным временным издержкам. BIM-технология позволяет существенно сократить время выполнение работ, так как параллельно с подготовкой или последовательным уточнением модели инженерных

изысканий может выполняться собственно проектирование. Параллельная работа проектировщиков и изыскателей возможна за счет использования среды общих данных (СОД), предоставляющей в качестве слоя ИЦММ отдельно подготавливаемую модель местности. По ходу наполнения цифровой модели местности информацией о зданиях, инженерных коммуникациях и других значимых объектах, проектировщики посредством СОД получают изменения в модели и могут корректировать проектные решения с учетом полученных изменений. Одним из многих преимуществ, получаемых при использовании BIM-технологии в проектировании по сравнению с традиционным подходом, является возможность обнаруживать потенциальные коллизии с инженерными коммуникациями и другими объектами. Это позволяет обнаруживать конфликты на ранних стадиях проектирования и вносить соответствующие изменения в проектное решение задолго до строительства. После занесения в модель информации о геологических скважинах и построения цифровой модели геологии, данные о геологических слоях могут быть использованы при работе с профилями, построении чертежей, подсчете объемов земляных работ, а также трехмерной визуализации геологической модели [5].

Информационная модель автомобильной дороги содержит комплексную информацию по объектам, составляющим автомобильную дорогу (например, ширина проезжей части, тип покрытия, дорожные знаки, ограждения и т. п.), с точным описанием их геометрических параметров и атрибутов. На стадии эксплуатации автомобильной дороги важно обеспечение безопасности дорожного движения на всей дороге и на отдельных, наиболее опасных участках. Основной метрикой для выявления таких участков служат данные о дорожно-транспортных происшествиях, присутствующие в ИМД и периодически актуализируемые. После выявления аварийно-опасных участков, как правило, вносятся изменения в существующие проекты организации дорожного движения (ПОДД) или разрабатываются новые.

Список цитированных источников

1. Инженерные изыскания для объектов дорожного строительства: ТКП 45-1.02-233-2011 (02250)). – Введ. 24.03.11 (с отменой с отменой П2-03 к СНБ 1.02.01-96). – Минск : Минстройархитектуры, 2011. – 85 с.
2. Инженерные изыскания для строительства: СН 1.02.01-2019. – Введ. 26.12.19 (с отменой с отменой СНБ 1.02.01-96). – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 108 с.
3. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению топографо-геодезических изысканий: ГОСТ 32869-2014. – Введ. РБ 01.04.2017. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 44 с.
4. Методические рекомендации по организации взаимодействия участников разработки проектной и рабочей документации на пилотных проектах строительства, капитального ремонта и реконструкции автомобильных дорог с применением BIM-технологии: ОДМ 218.3.105-2018.– Москва : Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2018. – 86 с.
5. Кривых, И. В. Обзор зарубежных САПР автомобильных дорог / И. В. Кривых, Н. С. Мирза // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 2 (14). – С. 68–77.
6. Официальный сайт ГП «Белгеодезия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geo.by>. – Дата доступа: 15.06.22.

Содержание

ПРОБЛЕМЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Фисюк А. А., Чоловская Е. В.

Научные руководители: к. т. н., доцент Белов С. Г.; ст. преподаватель Наумчик Г. О.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСТРУКЦИИ ТЕКСТИЛЬНОГО КРАСИТЕЛЯ
«КОРАФИКС ДЖЕТ» В ВОДНОМ РАСТВОРЕ С ПОМОЩЬЮ ОЗОНА** 4

Мацкович О. А., Острейко А. А.

Научные руководители: к. т. н. Андреюк С. В.; к. т. н., доцент Белов С. Г.

**МОНИТОРИНГ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ
ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВЫХ ВОДОПРОВОДОВ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ
И НЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ** 7

Новик С. Л., Жук В. В.

Научные руководители: к. т. н. Андреюк С. В.; к. т. н., доцент Волкова Г. А.

**МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ
ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ПРЕДПРИЯТИЙ** 12

Полещук Я. В., Цап К. В.

Научные руководители: к. т. н. Андреюк С. В., ст. преподаватель Акулич Т. И.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАБОТЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ** 16

Каперейко Д. В., Морозова А. И.

Научные руководители: ст. преподаватель Акулич Т. И.; к. т. н. Андреюк С. В.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОСФАТАЦИИ
СТОЧНЫХ ВОД РЕАГЕНТНЫМ МЕТОДОМ** 19

Хведченя А. А., Мацкович О. А.

Научные руководители: к. т. н. Андреюк С. В.; ст. преподаватель Наумчик Г. О.

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СХЕМ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД** 23

Адамов И. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Таратенкова М. А.

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАРУЖНЫХ СЕТЕЙ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ** 28

Шепетуха В. О., Лавринович А. Н.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Новосельцев В. Г.

**ПРОБЛЕМЫ ПРИ РАБОТЕ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ
СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ И ИХ РЕШЕНИЯ** 32

Каперейко Ю. В., Гринько Е. О.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Новосельцев В. Г.

**РАСПОЛОЖЕНИЕ НЕЙТРАЛЬНОЙ ТОЧКИ
В СИСТЕМЕ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПОРА** 36

<i>Каперейко Ю. В.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Новосельцев В. Г.</i> РАСПОЛОЖЕНИЕ НЕЙТРАЛЬНОЙ ТОЧКИ В СИСТЕМЕ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ ТЕРМОСТАТИЧЕСКИХ КЛАПАНОВ	39
<i>Шепетуха В. О., Лавринович А. Н.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА В ХОЛОДНЫЙ И ПЕРЕХОДНЫЙ ПЕРИОДЫ ГОДА	42
<i>Лавринович А. Н.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА	45
<i>Петрукович А. С.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.</i> СРАВНЕНИЕ ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬСТВО СМЕШИВАЮЩИХ И ВЫТЕСНЯЮЩИХ СКВ	49
<i>Верико Р. В., Гайдукович А. С.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДЯНОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА	52
<i>Каперейко Ю. В., Петрукович А. С.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Ключева Е. В.</i> СРАВНЕНИЕ ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЮ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ, РАССЧИТАННОЙ ПО ПРОГРАММЕ MAGICADREVIT И ПО НОМОГРАММАМ	55
<i>Каперейко Ю. В.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Ключева Е. В.</i> СРАВНЕНИЕ ДВУХ МЕТОДОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ	59
<i>Брень В. А., Лузянин П. С.</i> <i>Научный руководитель: ассистент Мешик К. О.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ	63
<i>Протасевич А. С.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Мешик О. П.</i> ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	68
<i>Джейгало В. В., Жук В. Г.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Новосельцева Д. В.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ДОМОВ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ	71
<i>Зарецкая Е. А.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Зубрицкая Т. Е.</i> ИЗМЕНЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ	74

Мацкович А. А., Цыгун Е. Д.
Научный руководитель: ст. преподаватель Кириченко Л. А.
**ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ВОДОЕМОВ МАЛЫХ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ ЗА КАЛЕНДАРНЫЙ ГОД..... 78**

Пацко К. И., Мацкович О. А.
Научный руководитель: ст. преподаватель Кириченко Л. А.
**ЗАВИСИМОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНОГО
ОБЪЕКТА ОТ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД 83**

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Самосюк Я. А.
Научный руководитель: ст. преподаватель Савчук О. Ф.
**ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ФОТОПРОВОДИМОСТИ
КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР CdSe..... 89**

Стасевич В. В., Филипня А. С.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Шуть В. Н.
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДСЧЁТА ПАССАЖИРОПОТОКА..... 91

Хацкевич А. С.
Научный руководитель: ст. преподаватель Хацкевич М. В.
НЕЙРОСЕТЕВЫЕ АЛГОРИТМЫ НА БАЗЕ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ..... 94

Старосотников В. Д.
Научный руководитель: к. т. н. Разумейчик В. С.
МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ СТАБИЛОМЕТРИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ..... 98

Лютыч А. В.
Научный руководитель: к. т. н. Разумейчик В. С.
СТАБИЛОТРЕНАЖЕР С БИОУПРАВЛЕНИЕМ ПО ОПОРНОЙ РЕАКЦИИ..... 101

Ефимович В. Ф.
Научные руководители: к. т. н., доцент Костюк Д. А.;
доцент кафедры Буслюк В. В.
ПРОБЛЕМАТИКА СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ РЕСПИРАЦИИ 105

Заречный А. О.
Научные руководители: к. т. н., доцент Шуть В. Н.;
ст. преподаватель Ляшук Н. У.
БЕСПИЛОТНОЕ ГРУЗОВОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО..... 109

Царик В. А.
Научные руководители: доцент кафедры Буслюк В. В.;
доцент кафедры Журавский В. И.
**МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА
ИЗМЕРЕНИЯ РЕСПИРАЦИИ ИНТЕРФЕЙСОМ USB 112**

Шафран М. В.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Хведчук В. И.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРОТОКОЛА..... 115

<i>Сукасян Т. М.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Шуть В. Н.</i> АЛГОРИТМ СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНА ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ ПОСРЕДСТВОМ РЕЛЬСОВОГО БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА «ИНФОБУС»	119
<i>Левчук А. А., Летченя С. А.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Шуть В. Н.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАРШРУТНЫХ ТАКСИ	122
<i>Мошко Д. А.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Бочарова Н. В.</i> О КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЕЛОСИПЕДА И ИНЖЕНЕРНОМ АНАЛИЗЕ РАМЫ В ПК SOLIDWORKS	126
<i>Полозок В. П., Ярмак М. А.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Мищирук О. М.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В AUTODESK 3D S MAX	131
<i>Логвин А. И., Ковпанько В. А.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Бочарова Н. В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ПРОТИПИРОВАНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ В ПК SOLIDWORKS	135
<i>Трайгель Д. А., Новицкая А. В.</i> <i>Научные руководители: к. т. н., доцент Уласевич В. П.; к. т. н., доцент Уласевич З. Н.</i> КОНИЧЕСКИЕ СЕЧЕНИЯ ПРЯМОГО КРУГОВОГО КОНУСА В НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ И ИХ СВЯЗЬ С АЛГЕБРАИЧЕСКИМИ УРАВНЕНИЯМИ 2-ГО ПОРЯДКА В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ	139
<i>Лисицкая А. А., Горбачук Е. В.</i> <i>Научные руководители: к. т. н., доцент Акулова О. А.; м. т. н. Розумец И. Н.</i> ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА: ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА РЕК И ОЗЕР БЕЛАРУСИ	144
<i>Евсеев К. А., Микуц А. Н.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Клопоцкий А. А.</i> РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ С ИНТЕГРИРОВАНИЕМ PYTHON В DELPHI	148
<i>Римашевская А. И.</i> <i>Научные руководители: ассистент Сидак С. В.; ст. преподаватель Рамская Л. К.</i> ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ	152
<i>Каменец А. Г., Котыш А. Ю.</i> <i>Научные руководители: к. т. н., доцент Кофанов В. А.; ст. преподаватель Хомицкая Т. Г.</i> МЕХАНИЗМ СБОРА ДАННЫХ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАРИЯ GOOGLE WORKSPACE	155

Тарасюк Е. Н.
Научный руководитель: ст. преподаватель Бочарова Н. В.
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ КВАДРОКОПТЕРА,
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАСТИ ВИНТА** 158

Хеук М. В., Гурский О. С.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Онысько С. Р.
**СОЗДАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО
АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ** 162

**ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

Хеук О. В.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Ярошевич А. В.
КОМПЕНСАТОР РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В БЫТОВЫХ НАГРУЗКАХ 168

Терещук Г. В.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Прокопеня О. Н.
**ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ РЕАЛИЗАЦИИ
НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ** 171

Кокудович Д. В., Сааков А. В.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Прокопеня О. Н.
**АНАЛИЗ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ
НА ОСНОВЕ СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ** 175

Онищук Д. А.
Научные руководители: к. т. н., доцент Савчук С. В.; к. т. н. Парфиевич А. Н.
**СИСТЕМА АКТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО
ПРИВОДА НАВЕСНОЙ СИСТЕМЫ ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА** 179

Петраков А. Д.
Научный руководитель: ст. преподаватель Саливончик Ю. Н.
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА
В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ** 182

Вишневский А. И., Сульжиц В. И.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Медведев О. А.
**УСЛОВИЕ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МАШИН
РЕГУЛИРОВАНИЕМ КОМПЕНСАТОРАМИ РАЗНОЙ ДЛИНЫ** 185

Сосновский А. А., Ярмак М. А.
*Научные руководители: к. ф.-м. н., доцент Веремейчик А. И;
к. т. н., доцент Хвисевич В. М.*
**К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ
ЛОКАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ
НОЖА ЛИСТОВЫХ ГИЛЬОТИННЫХ НОЖНИЦ АКНА-3225** 189

Панасик Е. Л.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Монтик С. В.
**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАСЧЕТУ
РЕСУРСА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ** 194

Коваль И. В.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Прокопеня О. Н.
**АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ
ПОВОРОТА ЗВЕНА МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА** 198

Грибовская М.С.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Голуб В. М.
**АНАЛИЗ РАБОТЫ УПЛОТНЕНИЙ ПЕСКОВЫХ НАСОСОВ
В УСЛОВИЯХ ПЕРЕКАЧКИ АБРАЗИВНЫХ ГИДРОСМЕСЕЙ** 201

Бурдиловский В. Н., Василюк Е. В.
Научный руководитель: ст. преподаватель Ляшук Н. У.;
к. т. н., доцент Шуть В. Н.
**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ СОСИСОК** 205

Левонюк И.Н., Василюк Е.В.
Научный руководитель: ст. преподаватель Ляшук Н. У.;
к. т. н., доцент Шуть В.Н.
**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ КОЛБАСНЫХ БАТОНОВ** 210

Николайчик И. С., Лазарук В. Р.
Научный руководитель: ст. преподаватель Ляшук Н. У.
**ОБЗОР СРЕДСТВ МЕЖОПЕРАЦИОННОГО
ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ УБОЯ** 215

ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Бекиш Е. О., Крук А. В.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Игнатюк В. И.
**К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСИЛИЙ В КРУГОВЫХ ТРЕХШАРНИРНЫХ
АРКАХ, НАГРУЖЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ
ПО ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ НАГРУЗКАМИ** 220

Бекиш Е. О., Крук А. В.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Игнатюк В. И.
**ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРУГОВЫХ АРОК,
ЗАГРУЖЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ НАГРУЗКАМИ,
РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПО ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ** 224

Аношко-Мостовой Е. А., Забавко А. А.
Научный руководитель: ст. преподаватель Бочарова Н. В.
**РАСЧЕТ МОНОЛИТНОЙ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «ЛИРА-САПР»** 228

Крейдич А. А., Костюк Е. А.
Научные руководители: к. т. н., профессор Черноиван В. Н.;
к. т. н., доцент Черноиван Н. В.
**ТЕПЛОВАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ ФАСАДОВ
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ** 233

<i>Самута М. В.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Бочарова Н. В.</i> СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ ПОКРЫТИЯ В ПК SOLIDWORKS	235
<i>Тричик В. В.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Тур Э. А.</i> КОМПЛЕКСНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЯ ТЮРЬМЫ №1 В Г. ГРОДНО КАК ОБЪЕКТА ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ РЕСПУБЛИКИ	240
<i>Рабиах Хайдер Салах Хатруш</i> <i>Научный руководитель: к. т. н. Дордюк Ю. С.</i> К ВОПРОСУ ВИЗУАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ И ЗА РУБЕЖОМ	246
<i>Мороз М.О.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Акулова О. А.</i> ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	248
<i>Волчок С.А.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Акулова О. А.</i> УРОВНИ BIM-МОДЕЛЕЙ И МИРОВОЙ ОПЫТ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	252
<i>Тыщук С. С.; Саковский Д. С.</i> <i>Научные руководители: к. т. н., доцент Юськович В. И; м. т. н., ст. преподаватель Бондарь А. В.</i> СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА КАМЕНЩИКОВ	255
<i>Загреба Д. А.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Маркечко Е. В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ВИНТОВ В СОЕДИНЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	260
<i>Ковальчук М. С., Онищук В. А.</i> <i>Научный руководитель: м. т. н., ассистент Беломесова К. Ю.</i> ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЫ ГИДРАТИРУЮЩИХ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ НА СТОЙКОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ФИБРЫ	263
<i>Симоник А. Н.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Молош В. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СОВРЕМЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	266
<i>Колесниченко М. В.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Молош В. В.</i> РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕЗУ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ПЛОСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ БЕЗ ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ РАССМОТРЕНИИ НОРМАЛЬНОГО И НАКЛОННОГО СЕЧЕНИЙ	270

<i>Колесниченко М. В.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Молош В. В.</i> ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РАСЧЁТА СРЕЗУ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ПЛОСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ БЕЗ ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ РАССМОТРЕНИИ НОРМАЛЬНОГО И НАКЛОННОГО СЕЧЕНИЙ	275
<i>Горбач А. А.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Ипатова О. В.</i> ПРОИЗВЕДЕНИЕ АРХИТЕКТУРЫ КАК ОБЪЕКТ АВТОРСКОГО ПРАВА: ПРОБЛЕМЫ ЮРИДИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИНА	278
<i>Сидоренко А. А., Щербаков А. А.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Густова А. Ю.</i> КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ФОРТА «Б» И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ КАЗАРМЫ «БВ»	283
<i>Борисенко В. С., Шмуговец В. Л.</i> <i>Научный руководитель: кандидат архитектуры, доцент Кароза А. И.</i> ЭВОЛЮЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ	289
<i>Стасюк Е. В., Солтанюк М. М.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Глушко К. К.</i> РАСЧЁТ ДВУМЕРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ С ЛИНЕЙНЫМИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ	293
<i>Чабурко Е. В.</i> <i>Научный руководитель: к. п. н., доцент Диченская Е. А.</i> ЭВОЛЮЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ В АРХИТЕКТУРЕ	297
<i>Юркевич Е. В.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Густова А. Ю.</i> КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОРЕЙСКОГО ДОМОСТРОЕНИЯ	304
<i>Чернявский И. Д.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Зинкевич И. В.</i> К УСТОЙЧИВОСТИ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ТИПА «СИГМА»	310
<i>Дробыш А. И.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Шевчук В. Л.</i> ПОВРЕЖДЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ МОНАСТЫРЯ БЕРНАРДИНОК В ГОРОДЕ БРЕСТЕ	314
<i>Лесик Б. М.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Тарасевич А. Н.</i> РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ	317
<i>Костюк А. А., Крук А. В.</i> <i>Научный руководитель: профессор, д. т. н., доцент Деркач В. Н.</i> ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА И УСИЛЕНИЯ ОБЛИЦОВОЧНОГО СЛОЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КАМЕННЫХ СТЕН	322
<i>Омельянчик И. Н.</i> <i>Научные руководители: к. т. н., доцент Зуева Л. Ф.; к. т. н., доцент Кандыбо С. Н.</i> ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ ДЛЯ ВИМ-ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	329

Научное издание

СБОРНИК КОНКУРСНЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ

Часть I

Ответственный за выпуск: Шалобыта Н. Н.

Редактор: Митлошук М. А.

Компьютерная вёрстка: Коноплёва О. В.

Корректор: Дударук С. А.

Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя

печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.

Подписано к печати 20.09.2022 г. Формат 60×84 ¹/₁₆.

Бумага «Performer». Гарнитура «Times New Roman».

Усл. п. л. 19,88. Уч.-изд. л. 21,38. Тираж 40 экз. Заказ № 1104.

Отпечатано на ризографе Учреждения образования
«Брестский государственный технический университет»
224017, Брест, ул. Московская, 267.

ISBN 978-985-493-558-4



9789854 935584