

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

**СБОРНИК КОНКУРСНЫХ
НАУЧНЫХ РАБОТ
СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ**

Часть I

Брест 2024

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 978-985-493-634-5 (ч. I)

ISBN 978-985-493-633-8

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

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

УДК 624;628;+338:339

ISBN 978-985-493-634-5 (ч. I)
ISBN 978-985-493-633-8

© Издательство БрГТУ, 2024

**ПРОБЛЕМЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА И ОХРАНЫ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

УДК 628.179, УДК 628.387

Ананич К. И., Локтионов Н. Г.

*Научные руководители: профессор, к. т. н., доцент Житенёв Б. Н.;
ст. преподаватель Рыбак Е. С.*

ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ СТОЙКИХ ПРИМЕСЕЙ ОЗОНИРОВАНИЕМ ПРИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ОБЛУЧЕНИИ

Введение. Часто природная вода содержит стойкие примеси, не подвергающиеся естественным процессам разложения, сохраняющиеся в окружающей среде в течение длительного времени, которые переносятся на большие расстояния во все части земного шара, причем даже в районы, удаленные на тысячи километров от ближайшего источника загрязнения.

Стойкие примеси накапливаются в тканях большинства живых организмов, которые поглощают их вместе с пищей, питьевой водой или вдыхаемым воздухом. К стойким примесям относят лекарственные препараты, пестициды, СПАВ, синтетические красители и прочее. Очистка воды от стойких примесей является актуальной задачей.

Новые окислительные технологии обеспечивают деградацию и минерализацию органических соединений в различных условиях в водной среде при взаимодействии с гидроксильными радикалами, озоном, кислородом, пероксидом водорода, ферратами. Основную роль в этих процессах играют гидроксильные радикалы, характеризующиеся величиной стандартного восстановительного потенциала 2,7 В, превосходящей этот показатель для озона (2,07 В) и уступающей только токсичному фтору. Озон, кислород и пероксид водорода могут непосредственно взаимодействовать с органическими соединениями или участвовать в трансформациях, приводящих к образованию гидроксильных радикалов. Высокореакционными промежуточными продуктами подобных трансформаций, помимо гидроксильных радикалов, являются и ряд других кислородных соединений.

К технологиям на основе озонирования относят как процессы прямого окисления органических соединений или обезвреживания растворенным в воде озоном, так и окислительные процессы, протекающие при участии гидроксильных радикалов, образующихся в результате химических трансформаций озона. Именно эти последние процессы рассматривают в числе новых окислительных технологий. При этом, если стандартный восстановительный потенциал озона равен 2,07 В, то у гидроксильных радикалов этот показатель достигает 2,8 В. Образование гидроксильных радикалов в результате трансформации озона в водной среде увеличивается в присутствии пероксида водорода, катализаторов, активированного угля, при совмещении озонирования с ультрафиолетовым облучением и ультразвуковой обработкой

В результате озонирование при ультрафиолетовом облучении происходит деградация загрязняющих веществ в результате прямого фотолиза, прямого озонирования и взаимодействия с гидроксильными радикалами. Последние образуются при трансформации озона при воздействии ультрафиолетового

облучения через промежуточное образование пероксида водорода. В ходе процесса повышается температура реакционной среды, что приводит к уменьшению растворимости озона. В этой связи необходима система охлаждения.

Преимущества процесса по отношению к традиционному озонированию выявлены в многочисленных исследованиях по деградации веществ с гормональной активностью, фталатов, нитробензола, фенольных соединений. Во всех случаях достигается существенно большая минерализация загрязняющих веществ.

Исходным веществом для проведения экспериментальных исследований являлся медицинский препарат: ампициллина тригидрат в таблетированной форме. В состав препарата входили также крахмал картофельный, тальк, кальция стеарат, крокскармеллоза натрия.

Одна таблетка ампициллина содержит 250 мг ампицилина. Вес таблетки 0,372 г. Водный раствор лекарственного препарата содержал в 1 мл 1 мг ампициллина.

Спектр снимали с помощью спектрофотометра СФ-2000, изображенном на рисунке 1.

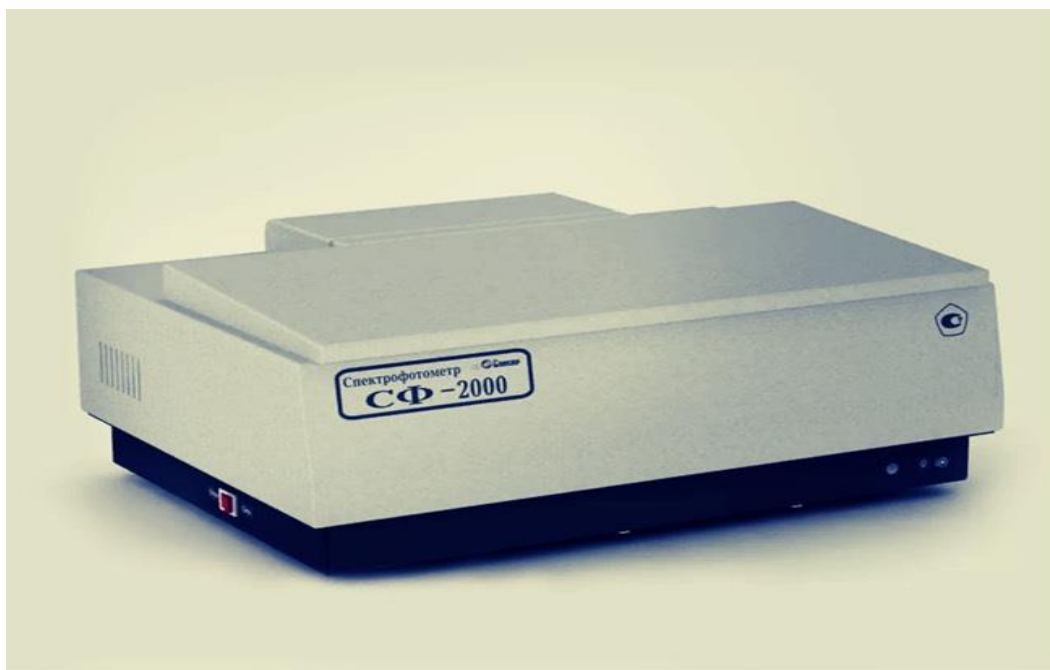


Рисунок 1 – Спектрофотометр СФ-2000

С помощью программы «Окраска-мониторинг» обрабатывали полученный спектр поглощения пробы, и программа рассчитывала степень снижения антибиотика при следующих концентрациях ампициллина: 0,25 мг/л; 0,1 мг/л; 0,05 мг/л; 0,01 мг/л; 0,0083 мг/л; 0,0067 мг/л; 0,0056 мг/л; 0,0053 мг/л; 0,005 мг/л; 0,004 мг/л; 0,0025 мг/л.

Раствор ампициллина имеет заметное поглощение в УФ-области, которое обусловлено наличием в нем антибиотика. Результаты, необходимые для построения калибровочного графика оценивались спектрофотометрическим методом в УФ-диапазоне от 200 до 400 нм (рисунок 2).

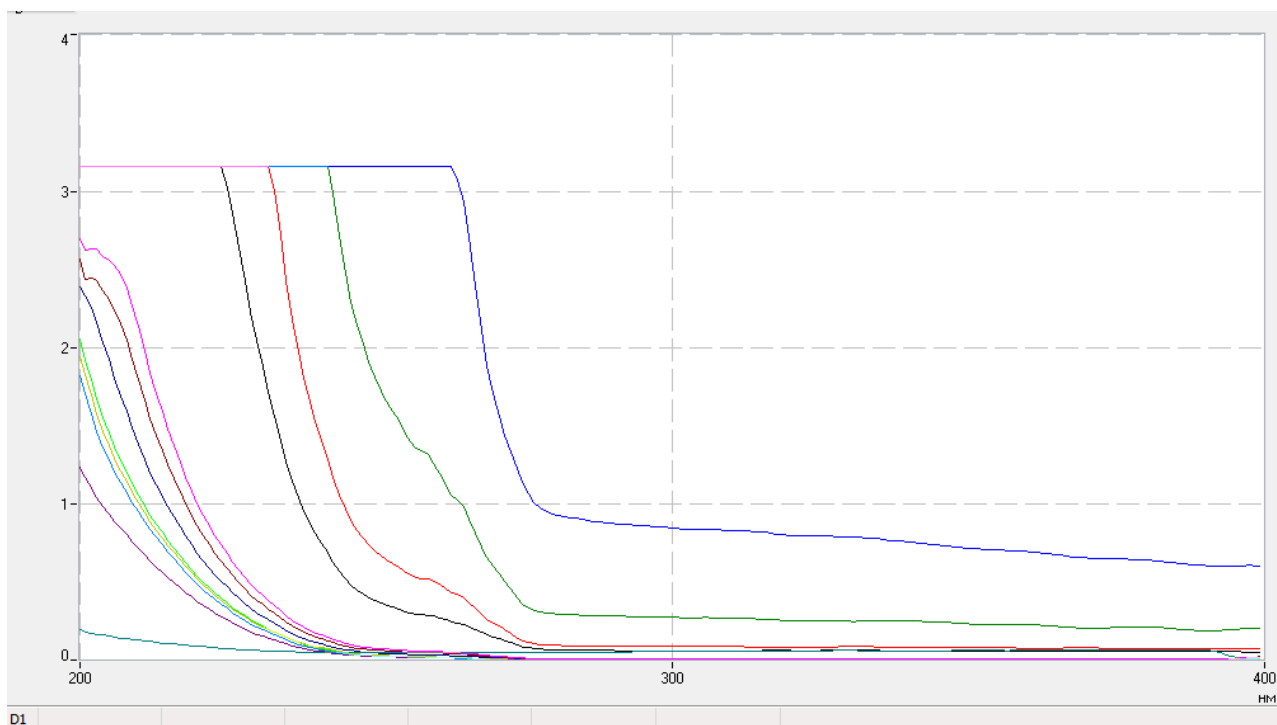


Рисунок 2 – Спектры ампициллина в различных концентрациях

В лабораторных условиях исследовались возможности очистки водного раствора ампициллина озонированием при ультрафиолетовом облучении.

Озон вводили в обрабатываемый раствор ампициллина методом точного дозирования в виде водного раствора. Далее проводилась серия опытов с добавлением озона в раствор антибиотика.

Реакция озона с обрабатываемой водой происходила в конической колбе. Затем рассчитывали объем озонированной воды, который необходимо влить в обрабатываемую пробу исследуемой воды, чтобы обеспечить заданную дозу озона. После этого отмеряли рассчитанный объем озонированной воды и добавляли к обрабатываемой пробе воды, находящейся в колбе и перемешивали в течение получаса. Разбавление обрабатываемой пробы воды при введении озона в виде водного раствора было незначительным, поскольку объемом озонированной воды, вливаемой в обрабатываемую пробу, был в 10 раз меньше объема обрабатываемой воды.

Для определения степени снижения антибиотика озонированием при ультрафиолетовом облучении в водном растворе была выполнена серия опытов, которые требуют доработки, так как метод определения остаточного ампициллина очень чувствителен к различным примесям, содержащимся непосредственно в самом препарате.

Заключение. Работа является частью большой работы по исследованию результатов деструкции хлороорганических и фенольных соединений, а также очистки сточных вод производства оливкового масла, текстильной и фармацевтической промышленности, содержащих антибиотики, фильтрата полигонов хранения твердых бытовых отходов. Результаты должны применяться на станциях водоподготовки. В данный момент эксперимент требует продолжения.

Список цитированных источников

1. Николадзе, Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г. И. Николадзе. М.: Стройиздат, 1978 – 163 с.
2. Кожинов, В. Ф. Очистка питьевой и технической воды / В. Ф. Кожинов. М.: Стройиздат, 1971 – 303 с.
3. Мамонтов, К. А. Обезжелезивание воды в напорных установках / К. А. Мамонтов. М.: Стройиздат, 1964 – 95 с.
4. Кульский Л. А., Строкач П. П. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П.П. Строкач. К.: Вища школа, 1986. – 352 с.
5. Мосин, О. В. Использование озона в водоподготовке // Сантехника, 2011. – 4, С. 47–49.
6. Кофман, В. Я. Очистка воды и сточных вод от соединений с гормональной активностью (обзор) // Водоснабжение и санитарная техника. – М., 2012. – № 6. – С. 17.

УДК 697.7

Василевич А. С., Брандлер В. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Ключева Е. В.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСА ДЛЯ МНОГОКВАРТИРНОГО 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, в то же время от внутреннего воздуха поток тепла через наружные ограждения направлен из помещения наружу. Баланс этих двух процессов обуславливает температуру внутреннего воздуха.

В данной статье произведено сравнение системы водяного отопления пятиэтажного жилого дома с горизонтальной поквартирной разводкой труб, работающей от котельной и теплового насоса.

В настоящее время в жилых домах устанавливается СВО с горизонтальной разводкой труб. Данная система позволяет осуществлять регулирование и учет потребляемой теплоты каждым отдельным потребителем в здании.

На каждую квартиру устанавливается счетчик тепла, что позволяет собственникам квартир платить только за то тепло, которое они потребляют.

Общие потери тепла $Q_{\text{общ}} = 117,012 \text{ кВт}$.

Сравнение будет производиться по тепловому расчету. Целью теплового расчета является выбор типа и размера отопительного прибора. В данном случае используются стальные панельные радиаторы марки «Лидея». В первом случае вычисления по подбору отопительных приборов (ОП) для последнего этажа здания в СО от котельной сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчет подбора ОП для последнего этажа (СО, работающая от котельной)

№ Помещения	Температура воздуха в помещении, °С	Тепловая нагрузка на прибор $Q_{\text{пр}}$, Вт	Температура входящей воды в прибор, $t_{\text{вх}}$ оС	Температура воды на выходе оС	Поправочный коэффициент $\beta 1$	Поправочный коэффициент $\beta 2$	Расход воды в приборе $G_{\text{пр}}$, кг/ч, кс/с	Температурный напор, Δt	Коэффициент приведения φ	Теплоотдача открыто расположенных трубопроводов $Q_{\text{тр}}$, Вт	Расчетный требуемый тепловой поток Q_1 , Вт	Номинальный требуемый тепловой поток $Q_{\text{н}}$, Вт	Поправочный коэффициент $\beta 4$	Марка отопительного прибора	Номинальный тепловой поток, $Q_{\text{н}}$	Проверка
501	20	1982	80	60	1,039	1,02	90,3	50	0,65	0	2100,4	3350,5	1,03	ЛК 21-519	3274	2,34%
502	18	1492	80	60	1,02	1,03	67,4	52	0,68	0	1567,6	2376,2	1,03	ЛК 20-518	2419	1,77%
503	18	2493	80	60	1,02	1,03	112,6	52	0,68	0	2618,8	3969,8	1,03	ЛК 20-530	4032	1,54%
504	18	530	80	60	1,02	1,03	23,9	52	0,68	0	556,88	844,16	1,03	ЛК 20-506	806	4,73%
505	18	523	80	60	1,02	1,03	23,6	52	0,68	0	549,09	832,35	1,03	ЛК 20-506	806	3,27%
506	18	2493	80	60	1,039	1,02	113,6	52	0,68	0	2641,7	4004,5	1,03	ЛК 21-514	4032	1,54%
507	18	1492	80	60	1,02	1,03	67,4	52	0,68	0	1567,6	2376,2	1,03	ЛК 20-518	2419	1,77%
508	20	1992	80	60	1,039	1,02	90,8	50	0,65	0	2111,1	3367,5	1,03	ЛК 21-519	3274	2,86%
509	20	781	80	60	1,02	1,03	35,3	50	0,65	0	820,99	1309,6	1,03	ЛК 20-510	1344	2,56%
510	18	414	80	60	1,02	1,03	18,7	52	0,68	0	435,22	659,73	1,03	ЛК 20-505	672	1,83%
511	18	2499	80	60	1,02	1,03	112,9	52	0,68	0	2625	3979,1	1,03	ЛК 20-530	4032	1,31%
512	18	1684	80	60	1,02	1,03	76,1	52	0,68	0	1768,8	2681,2	1,03	ЛК 20-520	2688	0,25%
513	18	1053	80	60	1,039	1,02	48,0	52	0,68	0	1115,6	1691,1	1,03	ЛК 21-510	1723	2,70%
514	18	1135	80	60	1,02	1,03	51,3	52	0,68	0	1192,4	1807,4	1,03	ЛК 20-513	1747	3,46%
515	18	475	80	60	1,006	1,04	21,4	52	0,68	0	496,74	753	1,03	ЛК 10-509	732	2,87%
516	18	2499	80	60	1,02	1,03	112,9	52	0,68	0	2625	3979,1	1,03	ЛК 20-530	4032	1,31%
517	18	414	80	60	1,02	1,03	18,7	52	0,68	0	435,22	659,73	1,03	ЛК 20-505	672	1,83%
518	20	802	80	60	1,02	1,03	36,2	50	0,65	0	842,23	1343,5	1,03	ЛК 20-510	1344	0,04%
519	18	61	80	60	1,006	1,04	2,8	52	0,68	0	64,076	97,131	1,03	ЛК 10-504	325	
520	20	185	80	60	1,006	1,04	8,3	50	0,65	0	193,28	308,31	1,03	ЛК 10-504	325	4,74%
521	18	57	80	60	1,006	1,04	2,6	52	0,68	0	59,422	90,076	1,03	ЛК 10-504	325	
522	20	171	80	60	1,006	1,04	7,7	50	0,65	0	179,24	285,92	1,03	ЛК 10-504	325	

Во втором случае, расчет по подбору отопительных приборов (ОП) для последнего этажа здания в СО, работающей от теплового насоса при параметрах 1 ($t_{\text{вх}} = 55^\circ\text{C}$, $t_{\text{вых}} = 35^\circ\text{C}$) сведен в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет подбора ОП для последнего этажа (СО, работающая от теплового насоса – параметры 1)

№ Помещения	Температура воздуха в помещении, °С	Тепловая нагрузка на прибор $Q_{\text{пр}}$, Вт	Температура входящей воды в прибор, $t_{\text{вх}}$ оС	Температура воды на выходе оС	Поправочный коэффициент $\beta 1$	Поправочный коэффициент $\beta 2$	Расход воды в приборе Спр, кг/ч, кг/с	Температурный напор, Ос	Коэффициент приведения φ	Теплоотдача открыто расположенных трубопроводов $Q_{\text{тр}}$, Вт	Расчетный требуемый тепловой поток Q_1 , Вт	Номинальный требуемый тепловой поток $Q_{\text{нт}}$, Вт	Поправочный коэффициент $\beta 4$	Марка отопительного прибора	Номинальный тепловой поток, $Q_{\text{н}}$	Проверка
501	20	1982	55	35	1,258	1,01	108,3	25	0,26	0	2518,2	9890,9	1,03	ЛК 33-724	9634	2,67%
502	18	1492	55	35	1,138	1,015	74,1	27	0,29	0	1723,5	6124,8	1,03	ЛК 22-622	6149	3,90%
503	18	2493	55	35	1,258	1,01	136,2	27	0,29	0	3167,2	11256	1,03	ЛК 33-728	11239	0,15%
504	18	530	55	35	1,045	1,03	24,5	27	0,29	0	570,53	2027,5	1,03	ЛК 20А-51	2016	0,57%
505	18	523	55	35	1,045	1,03	24,2	27	0,29	0	562,55	1999,2	1,03	ЛК 20А-51	2016	1,83%
506	18	2493	55	35	1,258	1,01	136,2	27	0,29	0	3167,2	11256	1,03	ЛК 33-728	11239	0,15%
507	18	1492	55	35	1,138	1,015	74,1	27	0,29	0	1723,5	6124,8	1,03	ЛК 22-622	6149	1,90%
508	20	1992	55	35	1,258	1,01	108,8	25	0,26	0	2531	9941,1	1,03	ЛК 33-724	9634	3,19%
509	20	781	55	35	1,138	1,015	38,8	25	0,26	0	902,62	3545,3	1,03	ЛК 22-713	3634	2,44%
510	18	414	55	35	1,045	1,03	19,2	27	0,29	0	445,88	1584,6	1,03	ЛК 20-610	1572	0,80%
511	18	2499	55	35	1,258	1,01	136,5	27	0,29	0	3174,6	11282	1,03	ЛК 33-728	11239	0,38%
512	18	1684	55	35	1,138	1,015	83,6	27	0,29	0	1944,7	6910,9	1,03	ЛК 22-724	6708	3,02%
513	18	1053	55	35	1,138	1,015	52,3	27	0,29	0	1215,9	4321,2	1,03	ЛК 22-617	4196	2,98%
514	18	1135	55	35	1,02	1,03	51,3	27	0,29	0	1192,4	4237,4	1,03	ЛК 22-617	4196	0,99%
515	18	475	55	35	1,045	1,03	22,0	27	0,29	0	511,04	1816,1	1,03	ЛК 20-612	1886	3,70%
516	18	2499	55	35	1,258	1,01	136,5	27	0,29	0	3174,6	11282	1,03	ЛК 33-728	11239	0,38%
517	18	414	55	35	1,045	1,03	19,2	27	0,29	0	445,88	1584,6	1,03	ЛК 20-610	1572	0,80%
518	20	802	55	35	1,138	1,015	39,8	25	0,26	0	925,98	3637	1,03	ЛК 22-713	3634	0,08%
519	18	61	55	35	1	1,04	2,7	27	0,29	0	63,694	226,36	1,03	ЛК 10-504	213	4,89%
520	20	185	55	35	1,006	1,04	8,3	25	0,26	0	193,28	759,16	1,03	ЛК 10-314	745	1,90%
521	18	57	55	35	1	1,04	2,5	27	0,29	0	59,067	209,91	1,03	ЛК 10-504	213	1,45%
522	20	171	55	35	1,006	1,04	7,7	25	0,26	0	179,24	704,01	1,03	ЛК 10-313	692	1,74%

В третьем случае подбор отопительных приборов (ОП) для последнего этажа здания в СО, работающей от теплового насоса, при параметрах 2 ($t_{\text{вх}} = 50^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{вых}} = 30^{\circ}\text{C}$) сведен в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчет подбора ОП для последнего этажа (СО, работающая от теплового насоса – параметры 2)

№ Помещения	Температура воздуха в помещении, °С	Тепловая нагрузка на прибор Q _{пр} , Вт	Температура входящей воды в прибор, t _{вх} оС	Температура воды на выходе оС	Поправочный коэффициент β1	Поправочный коэффициент β2	Расход воды в приборе Спр, кг/ч, кс/с	Температурный напор, Ос	Коэффициент приведения φ	Теплоотдача открыто расположенных трубопроводов Q _{тр} , Вт	Расчетный требуемый тепловой поток Q ₁ , Вт	Номинальный требуемый тепловой поток Q _{нт} , Вт	Поправочный коэффициент β4	Марка отопительного прибора	Номинальный тепловой поток, Qн	Проверка
501	20	1982	50	30	1,258	1,01	108,3	20	0,20	0	2518,2	13220	1,03	ЛК 33-730	13042	1,36%
502	18	1492	50	30	1,138	1,015	74,1	22	0,22	0	1723,5	7993,1	1,03	ЛК 22-728	7826	2,14%
503	18	2493	50	30	1,258	1,01	136,2	22	0,22	0	3167,2	13345	1,03	ЛК 33-730	13042	2,32%
504	18	530	50	30	1,045	1,03	24,5	22	0,22	0	570,53	2646	1,03	ЛК 20А-61	2672	-0,97%
505	18	523	50	30	1,045	1,03	24,2	22	0,22	0	562,55	2609	1,03	ЛК 20А-61	2672	-2,36%
506	18	2493	50	30	1,258	1,01	136,2	22	0,22	0	3167,2	13345	1,03	ЛК 33-730	13042	2,32%
507	18	1492	50	30	1,138	1,015	74,1	22	0,22	0	1723,5	7993,1	1,03	ЛК 22-728	7826	2,14%
508	20	1992	50	30	1,258	1,01	108,8	20	0,20	0	2531	13287	1,03	ЛК 33-730	13042	1,88%
509	20	781	50	30	1,138	1,015	38,8	20	0,20	0	902,62	4738,4	1,03	ЛК 22-619	4689	1,05%
510	18	414	50	30	1,045	1,03	19,2	22	0,22	0	445,88	2067,9	1,03	ЛК 20-712	2087	-0,91%
511	18	2499	50	30	1,258	1,01	136,5	22	0,22	0	3174,6	13345	1,03	ЛК 33-730	13042	2,32%
512	18	1684	50	30	1,258	1,01	92,0	22	0,22	0	2139,1	9920,9	1,03	ЛК 33-724	9634	2,98%
513	18	1053	50	30	1,138	1,015	52,3	22	0,22	0	1215,9	5639,3	1,03	ЛК 22-622	5430	3,86%
514	18	1135	50	30	1,02	1,03	51,3	22	0,22	0	1192,4	5529,9	1,03	ЛК 22-622	5430	1,84%
515	18	475	50	30	1,045	1,03	22,0	22	0,22	0	511,04	2370,1	1,03	ЛК 20А-61	2358	0,51%
516	18	2499	50	30	1,258	1,01	136,5	22	0,22	0	3174,6	13345	1,03	ЛК 33-730	13042	2,32%
517	18	414	50	30	1,045	1,03	19,2	22	0,22	0	445,88	2067,9	1,03	ЛК 20-712	2087	-0,91%
518	20	802	50	30	1,138	1,015	39,8	20	0,20	0	925,98	4861	1,03	ЛК 22-619	4689	3,67%
519	18	61	50	30	1	1,04	2,7	22	0,22	0	63,694	295,4	1,03	ЛК 10-306	319	4,89%
520	20	185	50	30	1,006	1,04	8,3	20	0,20	0	193,28	1014,6	1,03	ЛК 10-611	1051	-3,46%
521	18	57	50	30	1	1,04	2,5	22	0,22	0	59,067	273,95	1,03	ЛК 10-305	266	2,99%
522	20	171	50	30	1,006	1,04	7,7	20	0,20	0	179,24	940,94	1,03	ЛК 10-610	955	-1,47%

Таким образом, общая средняя стоимость ОП по рынку в первом случае составила 4235 бел. руб. Во втором случае средняя стоимость ОП составила 7690 бел. руб. В третьем случае – 10194 бел. руб.

Следовательно, стоимость ОП в системах отопления с тепловым насосом (ТН) будет выше, чем в СО, работающих от котельных, но СО с ТН являются куда более многофункциональными, энергоэффективными и современными.

Список цитированных источников

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03–2019. Введ. 16.12.19 (с отменой СНБ 4.02.01-03). – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 68 с.
2. Отопление и вентиляция жилого дома : методические указания для курсового проектирования по дисциплине Отопление для студентов специальности 1-70 04 02. – Брест, 2019.
3. Каталог отопительных приборов «Лидея».

УДК 628.316

Заяц Е. Д., Шляжко О. В.

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

к. т. н., ст. преподаватель Наумчик Г. О.

ПОДГОТОВКА АРТЕЗИАНСКОЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ МЕТОДОМ ОЗОНИРОВАНИЯ

Введение

Часто природная вода содержит вещества, придающие ей цветность. В большинстве случаев это гуминовые вещества и фульвокислоты [1, 2]. В некоторых случаях даже артезианская вода имеет заметную цветность, которая видна невооруженным глазом в бутылках. Очистка воды от органических загрязнений, обуславливающих цветность воды, является актуальной задачей. Озон – природный окислитель, который широко используется для очистки воды. Благодаря высокой активности озона загрязнения в воде быстро и эффективно окисляются. Обычно в результате окисления веществ, обуславливающих цветность воды, получаются бесцветные химические соединения [2–7]. Необходимо исследовать эффективность применения метода озонирования для обесцвечивания артезианской воды.

Озон является более эффективным решением, чем многие другие методы очистки воды. Например, при использовании хлора для дезинфекции воды могут образовываться токсичные соединения, которые оказывают вредное воздействие на здоровье. Однако озон полностью обеззараживает воду, уничтожая бактерии и вирусы [5–7].

Очистка воды озонированием – это не только эффективное, но и экономичное решение. Оборудование для очистки воды озоном требует небольших затрат на обслуживание и не нуждается в замене фильтров и других расходных материалов. Кроме того, озонирование не приводит к образованию токсичных соединений в воде, что позволяет снизить вредное воздействие на окружающую среду [5–7].

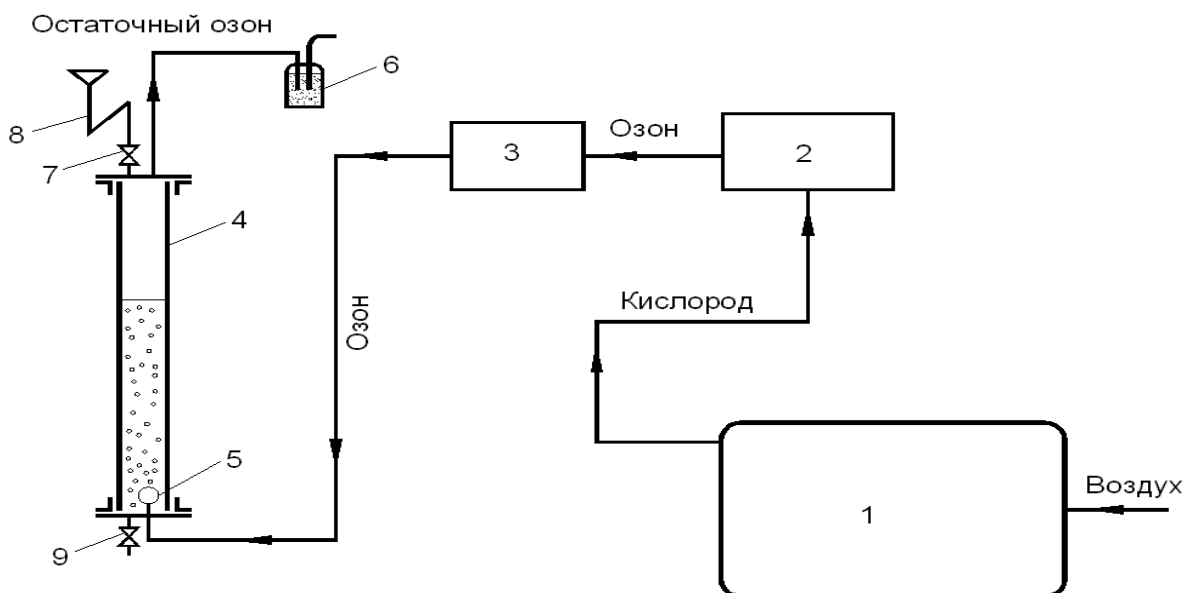
Материалы и методы

В данном разделе описывается выбранный метод исследования. Метод должен быть описан таким образом, чтобы другой исследователь был способен его воспроизвести.

Цветность воды определялась по хромово-кобальтовой шкале по ГОСТ 31868-2012.

Озонирование воды в лабораторных условиях осуществлялось методом введения озона в виде ее водного раствора в дистиллированной воде [8].

Схема установки для получения озонированной воды представлена 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

Кислород, вырабатываемый концентратором кислорода 1, поступает в озонатор 2, где вырабатывается озон. Озоно-кислородная смесь подается в контактную колонку 4 через пористый диспергатор 5, при этом дистиллированная вода насыщается озоном. Далее обедненная озоном озоно-кислородная смесь поступает в деструктор 6. Озонированная дистиллированная вода из контактной колонки 4 отбирается с помощью крана 9. Новые порции дистиллированной воды в контактную колонку 4 вводятся через гидравлический затвор 8 при помощи крана 7.

Реакция озона с обрабатываемой водой происходила в конической колбе. В озонированной воде с помощью озонометра «Медозон 245/8 (Ж-30)» определялась концентрация растворенного озона. Далее рассчитывали объем озонированной воды, который необходимо влить в обрабатываемую пробу исследуемой воды, чтобы обеспечить заданную дозу озона. После этого отмеряли рассчитанный объем озонированной воды и добавляли к обрабатываемой пробе воды, находящейся в колбе, и перемешивали в течение получаса. Разбавление обрабатываемой пробы воды при введении озона в виде водного раствора было незначительным, поскольку объемом озонированной воды, вливаемой в обрабатываемую пробу, был в 10 раз меньше объема обрабатываемой воды.

Результаты и обсуждение

Очистка артезианской воды на СП «Фрост и К» ООО происходит следующим образом. Артезианская вода в линию водоподготовки бутилированной воды поступает из артезианских скважин. Сначала она подвергается двухстадийному обезжелезиванию с помощью напорных фильтров, которое позволяет удалить основное количество железа и марганца, а также достичь значительного снижения цветности воды. Далее воду в три ступени фильтруют через угольные фильтры, что обеспечивает очень низкое значение цветности воды, которое

требуется для бутилированной воды. Затем вода поступает в цех розлива, где фильтруется через картриджные мелкопористые полипропиленовые фильтры, а затем обрабатывается ультрафиолетовыми лучами, чтобы обеспечить гарантированное обеззараживание воды и после этого поступает на полностью автоматизированные линии розлива. После этого вся продукция цеха розлива поступает на склад. В данном исследовании проверялась возможность достижения низких значений цветности при применении озона для обработки воды, прошедшей двухступенчатого обезжелезивания. Это позволит вместо обработки на фильтрах, загруженных активированным углем, применять озонирование.

Для определения дозы озона для доочистки артезианской воды на СП «Фрост и К» ООО по показателю «цветность» была выполнена серия опытов.

На рисунке 2 показана графическая зависимость снижения цветности от дозы озона для воды, прошедшей обезжелезивание в две ступени, полученной с СП «Фрост и К» ООО. На нем наглядно прослеживается влияние дозы озона на величину цветности.

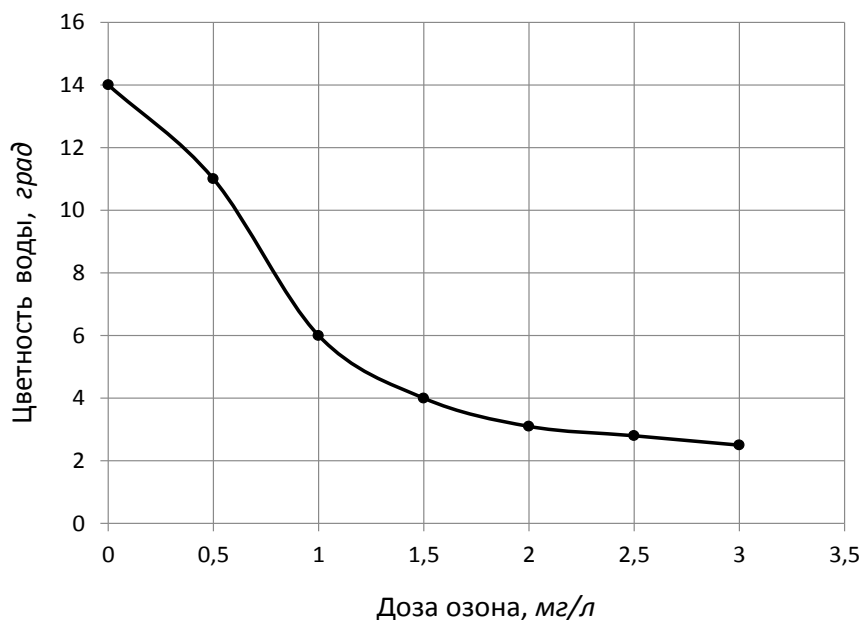


Рисунок 2 – Цветность воды после обработки различными дозами озона

График, представленный на рисунке 2, показывает, что с помощью озона можно снизить цветность обезжелезенной артезианской воды с СП «Фрост и К» ООО до 3-х градусов.

Очистка артезианской воды «Веда» происходит по следующей технологии. Вода в линию водоподготовки бутилированной воды поступает из артезианских скважин. Сначала с помощью напорных фильтров обезжелезивания из воды удаляют лишнее железо, далее воду фильтруют через угольные фильтры, затем с помощью озона корректируют органолептические показатели воды (уменьшают цветность, улучшают вкус и устраняют запах). После этого ее подают в металлические емкости, примерно на пятую часть заполненные кремнеземом. В емкостях с кремнеземом вода находится несколько суток, в результате этого вода обогащается ионами кремниевой кислоты. Затем вода поступает в цех розлива, где еще раз фильтруется через угольные фильтры, а затем обрабатывается ультрафиолетовыми лучами, чтобы обеспечить гарантированное обеззараживание

воды и после этого поступает на полностью автоматизированные линии розлива. Затем вся продукция цеха розлива поступает на склад.

Для установления дозы озона, необходимой для обработки воды «Веда», была выполнена серия опытов. Доза озона варьировалась в диапазоне от 1 до 2,5 мг/л воды с шагом 0,5 мг/л. Результаты воздействия озона на обрабатываемую воду оценивались спектрофотометрическим методом в УФ-диапазоне (от 200 до 400 нм). На рисунке 3 представлены спектры поглощения исходной и обработанной различными дозами озона воды «Веда», снятые через 0,5 часа после обработки.

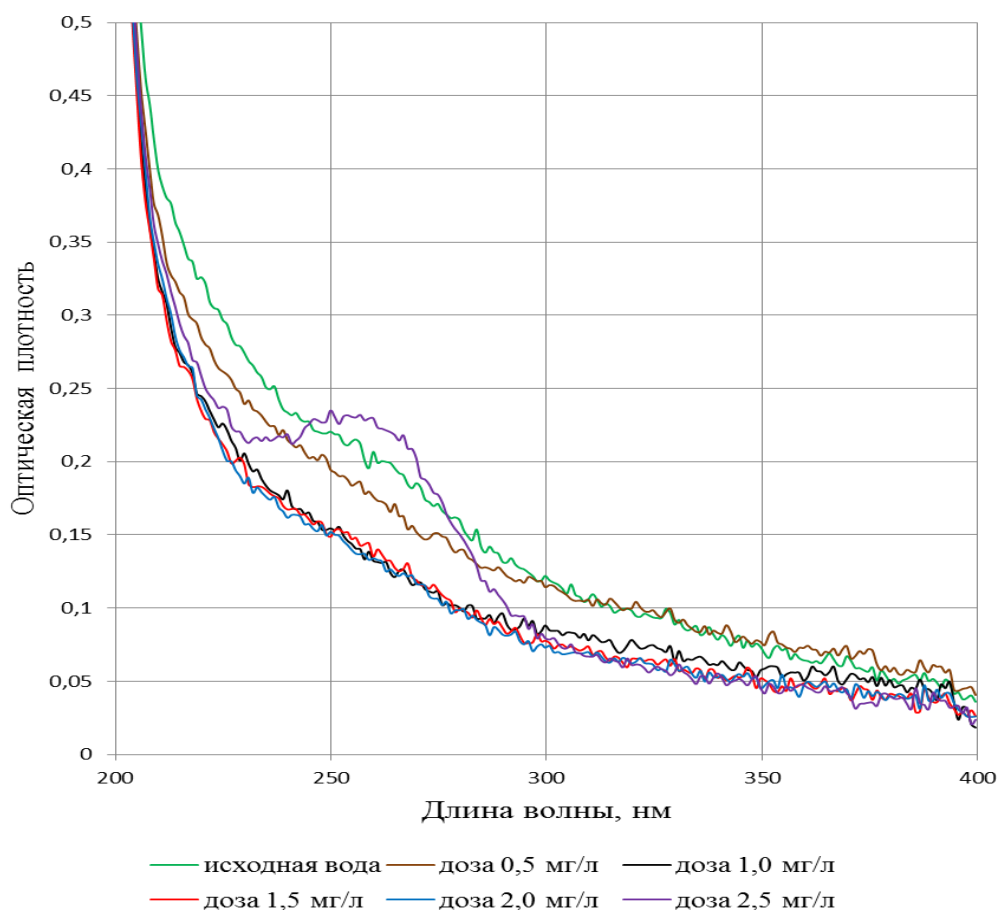


Рисунок 3 – Спектры поглощения исходной и обработанной озонами воды

Исходная вода «Веда» имеет заметное поглощение в УФ-области, которое обусловлено наличием в ней органических веществ. При дозе озона 0,5 мг/л спектр поглощения стал заметно ниже в диапазоне длин волн от 200 до 300 нм, на оставшейся части рассматриваемого диапазона заметных изменений не произошло. При введении дозы озона 1,0 мг/л наблюдалось значительное уменьшение поглощаемости по сравнению с исходной водой. При дозе озона 2,5 мг/л через 0,5 часа после озонирования наблюдался пик поглощения озона, т. е. при данной дозе озон за установленное время не успевал вступать в реакцию с веществами, растворенными в артезианской воде.

В процессе выполнения озонирования воды «Веда» сравнивали вкус исходной воды со вкусом воды, обработанной различными дозами озона, а также определяли наличие запаха остаточного озона через 0,5 часа после введения заданной дозы озона. Результаты данных определений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные по вкусу воды «Веда» в зависимости от дозы озона

№ опыта	Доза озона, мг/л	Вкус по отношению к исходной неозонированной воде	Запах озона
1	0,5	слабое улучшение	Отсутствует
2	1,0	заметное улучшение	Отсутствует
3	1,5	как в опыте № 2	Отсутствует
4	2	как в опыте № 2	Отсутствует

Данные, представленные в таблице 1, показывают, что основное количество органических веществ, обуславливающих вкус воды, окисляется при абсолютной дозе озона 1 мг/л в течении 0,5 часа.

Заключение

В результате выполненных исследований было установлено, что озонирование позволяет эффективно снижать цветность воды. Метод озонирования может быть использован на третьей ступени водоподготовки на СП «Фрост и К» ООО для глубокой очистки воды вместо метода адсорбции активированным углем. Оптимальная доза озона, полученная в результате лабораторных исследований, получилась равной 2,5 м/л. Требуемое время контакта с обработанной водой составило 10 минут.

В результате выполненных лабораторных исследований озонирования природной артезианской воды «Веда» были получены спектры поглощения данной воды в УФ-диапазоне, которые показывают изменение количества и состава органических веществ, характеризующих вкус и запах данной воды. На основе анализа данных спектров была определена оптимальная доза озона для обработки воды «Веда», которая составила 1 мг/л.

Рассмотренные факты указывают на эффективность озонирования при решении задачи снижения цветности воды без необходимости ее фильтрации.

Список цитированных источников

1. Николадзе, Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г. И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1978. – 163 с.
2. Кожин, В. Ф. Очистка питьевой и технической воды / В. Ф. Кожин. – М. : Стройиздат, 1971. – 303 с.
3. Мамонтов, К. А. Обезжелезивание воды в напорных установках / К. А. Мамонтов. – М. : Стройиздат, 1964. – 95 с.
4. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – Киев : Вища школа, 1986. – 352 с.
5. Мосин, О. В. Использование озона в водоподготовке / О. В. Мосин // Сантехника, 2011. – № 4. – С. 47–49.
6. Гончарук, В. В. Обеззараживание воды озонном. Влияние неорганических примесей на кинетику обеззараживания воды / В. В. Гончарук [и др.] // Химия и технология воды. – 2001. – № 2. – С. 198–208.
7. Драгинский, В. Л. Исследование эффективности процесса озонирования при подготовке питьевой воды / В. Л. Драгинский [и др.] // Водоснабжение и сантехника. – 1996. – № 2.
8. Белов, С. Г. Разработка метода точного дозирования высоких удельных доз озона при обработке воды / С. Г. Белов, Г. О. Наумчик // Вестник БрГТУ, 2011. – № 2 (68) : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 73–81.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТОРФЯНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Модернизация торфяных производств основана на программе комплексной модернизации торфяных производств на 2021–2025 годы от Минэнерго. Целью настоящей Программы является обеспечение диверсификации топливно-энергетического баланса республики за счет использования торфяной топливной продукции, а также расширение направлений использования в республике торфяной нетопливной продукции, увеличение объемов ее производства и реализации (таблица 1).

Достижение поставленной цели базируется на создании комплекса организационных и экономических механизмов, направленных на решение следующих задач:

- обеспечение конкурентоспособности торфяной продукции как на внутреннем, так и на внешних рынках, в том числе за счет создания новых и совершенствования существующих технологий разработки торфяных месторождений, добычи, переработки и использования торфа;

- снижение степени износа основных производственных фондов в торфяной отрасли топливно-энергетического комплекса республики;

- развитие альтернативных нетопливных направлений использования торфа;

- развитие сырьевых баз путем своевременного отвода и строительства новых площадей для добычи торфа взамен выбывших из эксплуатации, строительство и реконструкция подъездных железнодорожных путей колеи 750 мм для обеспечения прогнозных объемов добычи торфа и производства продукции.

Основными видами торфяной продукции, производимой организациями Минэнерго, являются брикеты топливные на основе торфа, сушенка торфяная, торф топливный фрезерный, торф верховой кипованный и грунты питательные на основе торфа.

По состоянию на 01.12.2020 торфяная отрасль представлена 19-ю организациями Минэнерго, из которых 17 организаций, входящих в состав ГПО "Белтопгаз" и 2 организации, входящие в состав ГПО "Белэнерго".

В целях поддержания действующих мощностей торфобрикетных производств организаций Минэнерго в период 2021–2025 гг. предусматривается проведение ряда мероприятий по точечной модернизации, которые включают в себя:

- замену отдельных единиц полностью изношенного технологического оборудования;

- выполнение работ по приведению строительных конструкций ряда производственных зданий и сооружений в состояние, обеспечивающее их безопасную эксплуатацию, на основании результатов обследования технического состояния строительных конструкций;

- внедрение современных и более эффективных систем обеспыливания сушилок и торфобрикетных прессов в целях обеспечения требований природоохранного законодательства, а также иные мероприятия.

Таблица 1 – Основные производственные показатели, мероприятия по развитию сырьевых баз и точечной модернизации производств, объемы финансирования мероприятий Программы по организации Минэнерго

Наименование мероприятия	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год	2025 год	Итого за период 2021–2025 годы
1. Объемы реализации продукции, тыс. тонн						
Брикеты, всего, из них:	809	806	801	791	791	3998
Экспорт	40	40	40	40	40	200
внутренний рынок, всего, в том числе:	769	766	761	751	751	3798
<i>топливоснабжающие организации</i>	<i>310</i>	<i>305</i>	<i>300</i>	<i>290</i>	<i>290</i>	<i>1495</i>
<i>энергетическая отрасль ТЭК</i>	<i>40</i>	<i>42</i>	<i>42</i>	<i>42</i>	<i>42</i>	<i>208</i>
<i>организации цементной промышленности</i>	<i>341</i>	<i>341</i>	<i>341</i>	<i>341</i>	<i>341</i>	<i>1705</i>
<i>прочие потребители</i>	<i>78</i>	<i>78</i>	<i>78</i>	<i>78</i>	<i>78</i>	<i>390</i>
Сушенка торфяная, всего, в том числе:	170	180	180	180	180	890
<i>организации цементной промышленности</i>	<i>170</i>	<i>180</i>	<i>180</i>	<i>180</i>	<i>180</i>	<i>890</i>
Торф кусковой	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	7,5
Торф фрезерный на теплоисточники	137,2	220,8	220,9	220,8	220,9	1020,6
Торф верховой кипованный	85	86,3	97,6	102,4	104	475,3
Торф верховой	2	2	2	2	2	10
Грунт торфяной питательный	51,2	51,7	52,7	53,2	53,7	262,5
Всего	1255,9	1348,3	1355,7	1350,9	1353,1	6663,9
2. Объемы производства продукции, тыс. тонн						
Брикеты	809	806	801	791	791	3998
Сушенка торфяная	170	180	180	180	180	890
Торф кусковой	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	7,5
Торф фрезерный на теплоисточники	189,5	273,1	277,2	277,1	277,2	1294,1
Торф верховой кипованный	85	86,3	97,6	102,4	104	475,3
Торф верховой	2	2	2	2	2	10
Грунт торфяной питательный	51,2	51,7	52,7	53,2	53,7	262,5
Всего	1308,2	1400,6	1412,0	1407,2	1409,4	6937,4
3. Необходимый объем добычи торфа, тыс. тонн, всего, в том числе:						
для производства брикетов	1442,2	1453,8	1444,4	1426,2	1426,2	7192,8
для производства сушенки торфяной	306	324	324	324	324	1602
торф кусковой	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	7,5
для теплоисточников	189,5	273,1	277,2	277,1	277,2	1294,1
для киповки	92	94,7	106,4	111,6	114,7	519,4
для производства грунтов	51,2	51,7	52,7	53,2	53,7	262,5
для прочих потребителей	2	2	2	2	2	10
для собственных котельных	75,4	71,9	71,9	71,9	71,9	363
4. Мероприятия по развитию сырьевых баз						
Расчетная потребность в площадях (брутто), га	6042,9	6356,8	6452,4	6450,3	6470,5	X
Отведенные площади с учетом строительства и выбытия, га	8200,1	8801,7	9156,6	9665,7	9107,5	X
Наличие площадей для добычи торфа (брутто), га	7182,5	7301,5	7291,2	7489,9	7481,1	X
Прогнозное выбытие площадей, га	577,9	663,1	602,0	844,2	465,9	3153,1

Наименование мероприятия	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год	2025 год	Итого за период 2021–2025 годы
Отвод площадей (земельный), га, в том числе	1550,2	1408,0	1364,3	200,0	740,0	5262,5
отвод площадей (брутто), га	1166,4	1147,0	1105,1	135,0	635,0	4188,5
Строительство площадей для добычи торфа (брутто), га	653,7	657,0	880,5	815,8	647,0	3654,0
Объем финансирования строительства площадей, тыс. рублей	33603,3	46175,5	44674,7	44836,9	40412,3	209702,7
5. Объемы финансирования мероприятий по точечной модернизации производств, тыс. рублей (с НДС)	6810,9	7985,8	4338,4	4974,9	6540,1	30650,1
6. Объемы финансирования строительства цеха по кипованию торфа ОАО "Туршовка", тыс. рублей (с НДС)	9413,0	3294,0	–	–	–	12707,0
7. Приобретение торфозовных вагонов						
объем финансирования, тыс. рублей	625,6	626,4	626,4	626,4	626,4	3131,2
количество, единиц	12	12	12	12	12	60
8. Мероприятия по повышению качества продукции	47,0	62,0	62,0	98,0	62,0	331,0
9. Объемы и источники финансирования мероприятий Программы, тыс. рублей (с НДС)						
Общий объем в финансировании мероприятий Программы, всего, в том числе по направлениям:	50499,8	58143,7	49701,5	50536,2	47640,8	256522,0
развитие сырьевых баз	33603,3	46175,5	44674,7	44836,9	40412,3	209702,7
точечная модернизация производств	6810,9	7985,8	4338,4	4974,9	6540,1	30650,1
строительство цеха по кипованию торфа	9413,0	3294,0	–	–	–	12707,0
приобретение торфозовных вагонов	625,6	626,4	626,4	626,4	626,4	3131,2
мероприятия по повышению качества продукции	47,0	62,0	62,0	98,0	62,0	331,0
Источники финансирования мероприятий Программы:						
инвестиционный фонд Минэнерго	37409,4	33930,7	33176,2	31488,2	25043,4	161047,9
собственные средства организаций	13090,4	24213,0	16525,3	19048,0	22597,4	95474,1

Миссией организаций Минэнерго в области качества является создание условий для выпуска конкурентоспособной торфяной продукции, качество которой соответствует требованиям потребителя, безопасности для жизни, здоровья граждан и охраны окружающей среды. Стратегической задачей в области качества является обеспечение выпуска торфяной продукции в соответствии с техническими нормативными правовыми актами.

В организациях Минэнерго работает 21 испытательная лаборатория. Оценка технической компетентности испытательных лабораторий, ежегодный контроль качества продукции, выпускаемой организациями Минэнерго, а также поверка нестандартизированного оборудования осуществляется государственным предприятием "НИИ Белгипротопгаз". Мероприятия в области метрологии позволяют обеспечить эффективный контроль за качеством выпускаемой торфяной продукции, оценить техническую компетентность испытательных лабораторий организаций Минэнерго (таблица 2).

Таблица 2 – Мероприятия организаций Минэнерго в области метрологии

Наименование мероприятия	Сроки, год	Исполнитель	Объем работ, руб.	Заказчик
1. Оценка технической компетентности испытательных лабораторий организаций Минэнерго	ежегодно	Государственное предприятие «НИИ Белгипротопгоз»	40000	Организации Минэнерго
2. Выборочная оценка качества выпускаемой продукции на основе торфа организаций Минэнерго	ежегодно	Государственное предприятие «НИИ Белгипротопгоз»	40000	Организации Минэнерго
3. Аттестация нестандартизированных средств испытаний и измерений организаций Минэнерго	один раз в три года	Государственное предприятие «НИИ Белгипротопгоз»	15000	Организации Минэнерго

Реализация мероприятий Программы позволит: вовлечь в 2021–2025 годах в топливно-энергетический баланс республики торфяной топливной продукции в объеме порядка 3,288 млн т.у.т.; достичь максимально возможного уровня удовлетворения потребности экономики в торфяной нетопливной продукции, произведенной из местного сырья; внедрить новые и усовершенствованные технологии разработки торфяных месторождений, добычи, переработки и использования торфа; снизить степень износа основных производственных фондов в торфяной отрасли топливно-энергетического комплекса республики; обеспечить экономически эффективную (безубыточную) работу организаций Минэнерго.

Основными направлениями последующего использования выбывших из эксплуатации земель торфяных месторождений будет являться их экологическая реабилитация путем повторного заболачивания, а также рекультивация выработанных полей для добычи торфа в целях последующего лесохозяйственного использования. Реализация мероприятий по вовлечению в использование земель выработанных торфяных месторождений позволит получить экологический и экономический эффекты.

В прошлом столетии создана и до настоящего времени сохранена разветвленная производственная инфраструктура организаций Минэнерго, которая позволит обеспечить достижение установленных настоящей Программой целей, а именно: диверсификация топливно-энергетического баланса республики за счет использования торфяной топливной продукции; расширение направлений использования в республике торфяной нетопливной продукции, увеличение объемов ее производства и реализации. При этом использование торфяной топливной продукции способствует укреплению энергетической безопасности государства, а торфяной нетопливной продукции в сельском хозяйстве позволит снизить отрицательный баланс гумуса в почве, повысить урожайность и улучшить качество сельскохозяйственной продукции [1].

Список цитированных источников

1. Программа комплексной модернизации торфяных производств на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.minenergo.gov.by/upload/news/2021/yanvar/.pdf>. – Дата доступа: 29.03.2024.

УДК 504.054

Козел А. И.

Научные руководители: к. т. н., доцент Мороз В. В.;
ст. преподаватель Дашкевич Д. Н.

ОРАНЖЕВЫЙ ЭФФЕКТ: НЕВИДИМАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КАТАСТРОФА И РЕЗУЛЬТАТИВНЫЕ МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Наша планета уже давно меняется вследствие деятельности человека. И изменения на самом деле колоссальные: потеря биоразнообразия, гибель ряда экосистем, ухудшение качества продуктов питания, воды, почвы, загрязнение воздуха, голод, пандемии, исчезновение важных природных ресурсов, серьезный экономический ущерб, геологические проблемы и природные катастрофы, распространение вредных и инвазивных видов живых организмов, массовые миграции, резкое сокращение численности населения. Главным среди этих последствий является глобальное потепление, первопричиной которого служит усиление парникового эффекта, что в относительно ближайшем будущем может нанести огромный ущерб бедным странам. С конца XIX века средняя температура на Земле выросла на $1,1^{\circ}\text{C}$, и эта цифра продолжает подниматься. Практически на всех территориях суши уже наблюдается увеличение числа жарких дней. А по последним прогнозам ученых средняя температура планеты будет повышаться со скоростью $0,2$ градуса каждые 10 лет. Таким образом, через 500 лет общая температура на Земле возрастет на 10 градусов. А 500 лет – это не так уж и долго, как кажется – всего 7 поколений после нас.

И все это происходит уже сейчас: медленно, постепенно и необратимо.

История начала конца. Промышленная революция, Англия, XVIII век. Наблюдается демографический взрыв, увеличивается спрос на продукты питания, землю и текстиль, а производственные услуги быстро расширяются и глобализируются. Ощущается острая нехватка рабочей силы и хороших условий труда. Для их ликвидации вводится система наемных рабочих, осуществляется ускоренное строительство производственных предприятий с более высокой квалификацией. Основная часть финансов уходит на индустриализацию: заводы работают полным ходом, а научная деятельность наносит ущерб окружающей среде.

Неудивительно, что общий уровень загрязнения биосферы увеличился в десятки раз. Рассмотрение обратной стороны индустриализации являлось невосстановленным вопросом. Эти проблемы остались и активно прогрессировали, а последствия первой промышленной революции мы наблюдаем и по сей день.

Парниковый эффект – это повышение температуры нижних слоев атмосферы Земли по сравнению с эффективной температурой (температурой теплового излучения планеты, видимой из космоса). Парниковый эффект удерживает среднюю температуру планеты на уровне 15 градусов по Цельсию. Это оптимальная температура, необходимая для нормального функционирования всех природных экосистем и их биотических компонентов. Ведь все

живые организмы, их физиология и требования к составу и условиям среды обитания строго индивидуальны. Что действительно удивительно, так это идеальный баланс климатических условий на планете и сосуществование хрупких, взаимно зависимых систем жизни на Земле. В этом заключается биологический смысл естественного парникового эффекта: я бы сказала, основной закон поддержания биосферного баланса на планете.

Парниковый эффект делится на два типа: естественный (природный), о котором только что шла речь, и антропогенный (оранжевый) – усиленный антропогенным путем промышленного вмешательства, опасный для окружающей среды и здоровья человека.

Идея о механизме парникового эффекта была впервые разработана и высказана французским физиком и математиком Жозефом Фурье в 1827 году. Он предположил, что оптические свойства приземной атмосферы подобны оптическим свойствам стекла.

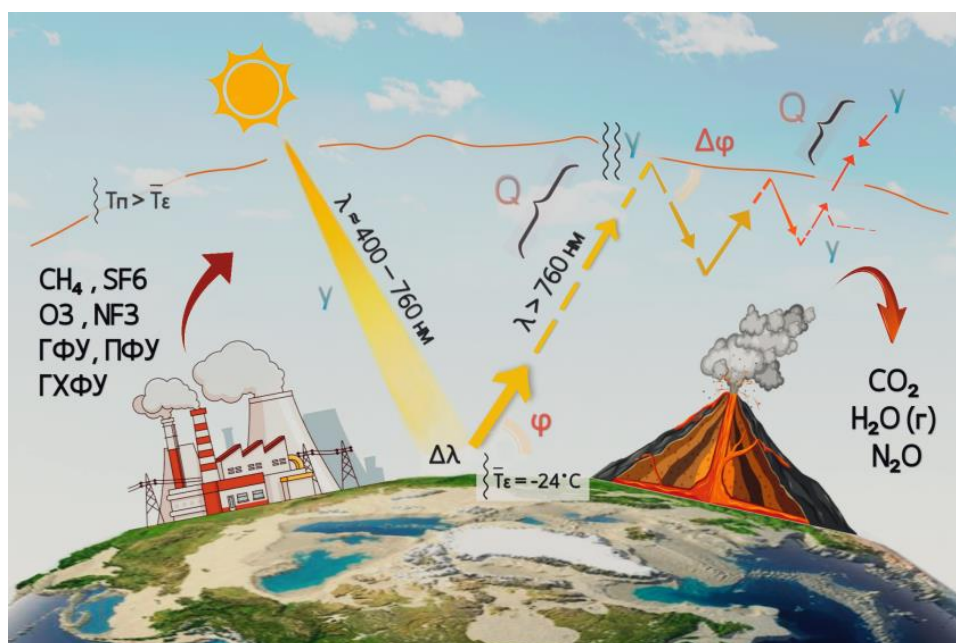
Структура и потенциал парникового эффекта: «газовый купол» над частью поверхности Земли (в случае регионального тепличного эффекта) был вызван парниковыми газами, естественно или искусственно выброшенными в атмосферу планеты. Ее излучение нагревает земную поверхность до более высокой температуры, чем она была бы без защитной оболочки Земли, часть тепловой энергии Солнца потребляется недрами планеты, часть рассеивается в атмосфере, часть поглощается живыми организмами в процессе их жизнедеятельности, а оставшиеся частицы отражаются от газовой оболочки и стремятся покинуть атмосферное пространство, но вследствие высокой концентрации парниковых газов, задерживающих и не пропускающих тепло, вторично отражаются от нижних слоев атмосферы, устремляясь вниз; при хаотичном движении фотоны света постепенно замедляются, находя свое место в системе воздушного пространства. Таков физико-биоэкологический процесс, парниковый эффект. Природа и подробное описание функциональной мощи процесса раскрыты в рисунке 1.

Основными парниковыми газами, концентрации которых активно и безудержно растут, являются углекислый газ, закись азота, фреоны, водяной пар и озон в нижних слоях атмосферы. Их содержание поднялось до критического уровня. Сжигание ископаемого топлива и биомассы, работа коммунальных услуг, котельных, тепловых и угольных электростанций, процветающая горнодобывающая и иная геологическая деятельность, строительные работы, широкое использование химикатов, пищевая и текстильная промышленность, увеличение свалочных площадей, выбросы транспорта, вырубка лесов и общая потеря растительного разнообразия из-за лесных пожаров и опустынивания – все эти события и процессы нарушают природный баланс экосистем: значительно снижается поглотительная способность «зеленых организмов» и концентрация парниковых газов резко возрастает.

Общепринятые способы решения проблемы усиления оранжевого эффекта: снижение выбросов предприятий, сокращение использования ископаемого топлива, переход на возобновляемые источники энергии, рассеивание частиц серебра в стратосфере, восстановление почвы, активное озеленение и рациональное лесопользование, сокращение лесных пожаров и площадей опустынивания,

регулирование отходов и модернизация процесса переработки, сокращение выбросов от транспорта, переход на электромобили, – это необходимые базовые меры борьбы с загрязнением биосферы и негативным изменением климата. Они действительно преобразуют оранжевый эффект в естественный.

Наука должна развиваться в правильном, экологическом направлении. Будущее состояние природы почти полностью зависит от молодых людей, от таких студентов, как я, от их заинтересованности в разрешении данного вопроса и понимания важности экологических показателей среды обитания. Следовательно, наиболее результативный способ начать нормализацию естественного парникового эффекта – повысить уровень экологического сознания среди молодёжи, активировать новейшие программы и приложения, которые позволят каждому человеку легко и эффективно внести свой собственный вклад в улучшение качества воздуха; а ученым, например, найти способ использовать возобновляемую энергию молний для обеспечения жизнедеятельности населения вместо активной разработки универсального химического удобрения. Важно добиться того, чтобы каждый студент знал основы экологии и искренне интересовался её направлениями: ведь, нанося значительный ущерб окружающей среде, люди наносят ещё больший вред самим себе, так как являются неотъемлемой частью природы. Без этих золотых основ общество не сможет достичь баланса между ноосферой и биосферой.



T_{ϵ} – эффективная температура Земли; $T_{\text{п}}$ – температура внутри парникового эффекта (приземная температура; λ – длина волны (видимый / невидимый диапазон); φ – угол отражения светового потока; γ – фотон света

Рисунок 1 – Характер формирования и структура парникового эффекта

Список цитированных источников

1. Войткевич, Г. В. Воздействие человека на биосферу / Г. В. Войткевич, В. А. Вронский // Основы учения о биосфере : учебное пособие – Ростов н/Д. : Феникс, 1996. – 476 с.
2. Голицын, А. Н. Промышленные выбросы / А. Н. Голицын // Основы промышленной экологии : учебник для нач. проф. образования, 4-е изд. – М. : Академия, 2007. – 240 с.

СХЕМА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СМЕШИВАНИЕМ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ ВОЗДУХА В ТЕПЛЫЙ И ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОДЫ В ПОМЕЩЕНИИ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛА

При проектировании системы кондиционирования конференц зала в городе Барановичи были приняты следующие параметры наружного воздуха (таблица 1) [1]:

Таблица 1 – Расчетные параметры наружного воздуха

Периоды года	Температура наружного воздуха t_n , °С;	Энтальпия наружного воздуха I_n , кДж/кг	Скорость ветра V , м/с
Теплый	26,5	51,2	3,0
Холодный	-22,0	-21,0	4,2

С целью уменьшения затрат на тепло- и холодоснабжение СКВ расчетную температуру и относительную влажность воздуха в помещении следует принимать для теплого периода года максимальные, для холодного – минимальные из диапазона оптимальных значений, т. е.:

- в теплый период года: относительная влажность 30–60 %; температура в рабочей зоне рекомендуется от 22° С до 25° С; подвижность воздуха в рабочей зоне – не более 0,3 м/с.

- в холодный период года: относительная влажность 45–30 %; температура в рабочей зоне рекомендуется от 20° С до 22° С; подвижность воздуха в рабочей зоне – не более 0,2 м/с.

Температуру и относительную влажность для помещений 2 категории (помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебой) для двух периодов принимаем по табл. 1 «Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий» [2].

С целью уменьшения затрат на тепло- и холодоснабжение СКВ расчетную температуру и относительную влажность воздуха в помещении следует принимать для теплого периода года максимальные, для холодного – минимальные из диапазона оптимальных значений.

При подаче приточного воздуха с помощью схемы смешивания, принимаем температуру подачи в теплый период $t_{np} = 20^\circ \text{C}$, в холодный $t_{np} = 15^\circ \text{C}$.

Согласно расчету по определению воздухообмен для асимилиации вредностей расчетная величина воздухообмена в конференц зале G_p , кг/ч, т. е. расход воздуха для подбора оборудования, составила 8757,89 кг/ч или $L = 7298,24 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Подбор приточных воздухораспределительных устройств произвели в программе «ProAirWeb» Swegon [3] по результатам которого в расчетном помещении установили 18 приточных распределителей EAGLE Cb 315-500-RO+ALSd 250-315, а для вытяжки по каталогам фирмы «АРКТОС» подобрана

модель вытяжных диффузоров 4АПР-С-600х600+3КСДМ в количестве 10 единиц.

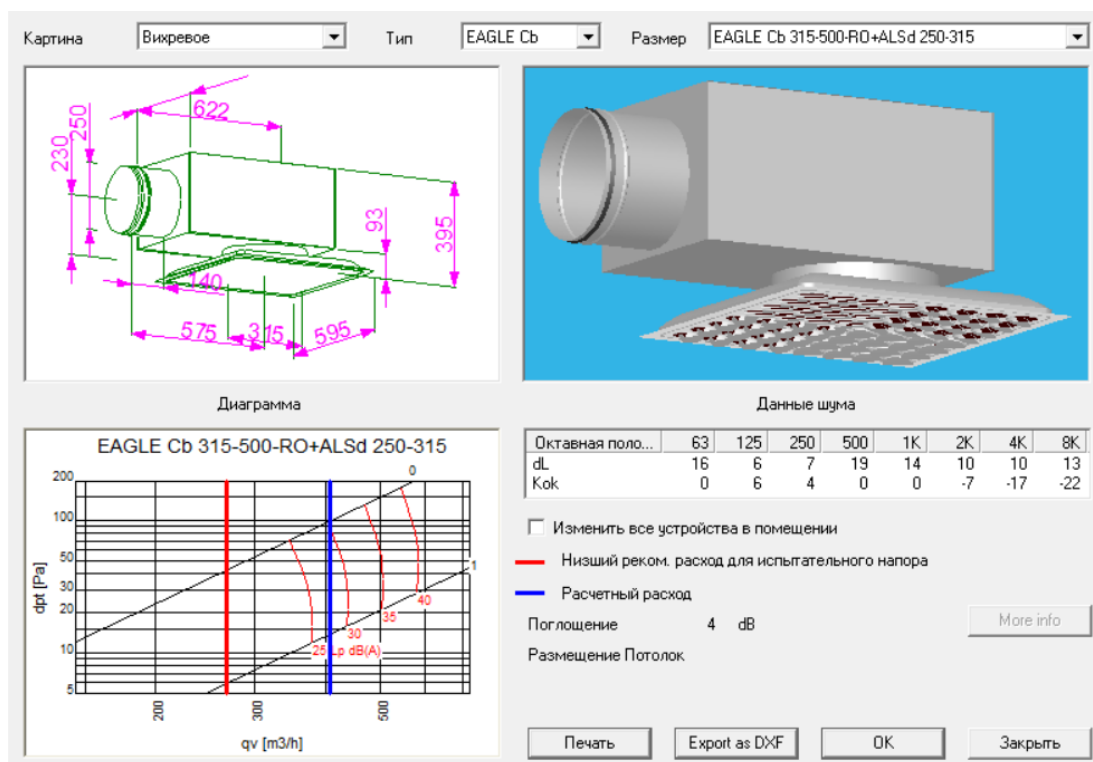


Рисунок 1 – Свойства подобранных приточных воздушораспределителей EAGLE Cb 315-500-RO+ALSd 250-315

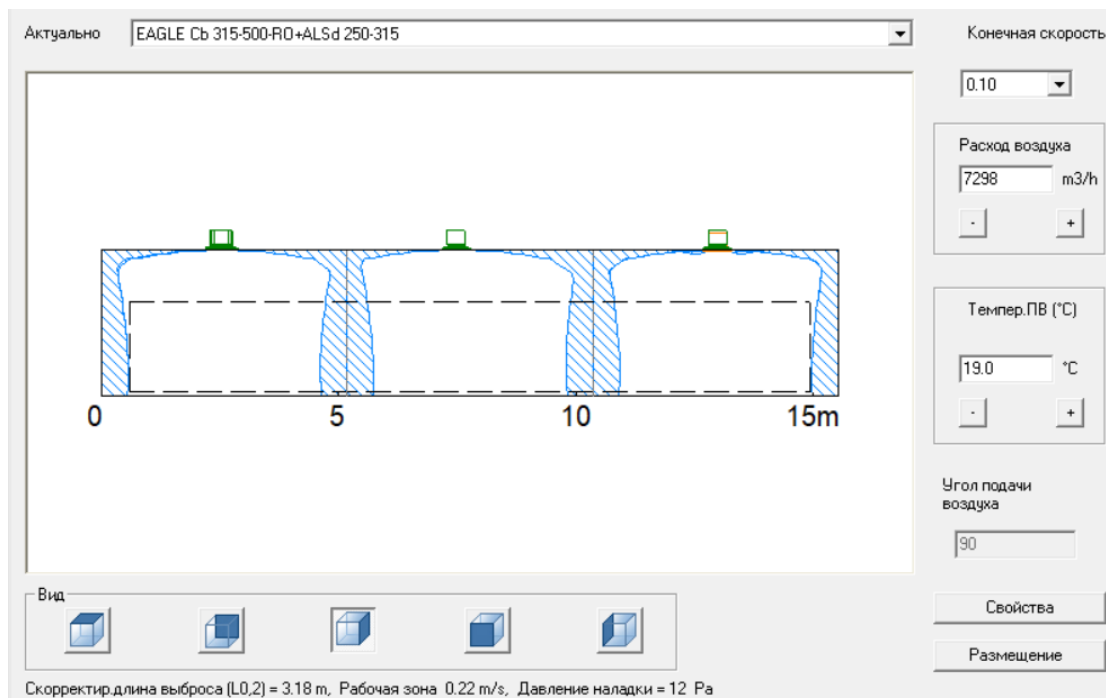


Рисунок 2 – Изовела распределения воздуха по помещению воздушораспределителями EAGLE Cb 315-500-RO+ALSd 250-315

В системах смешивающей вентиляции приточный воздух подается на уровне потолка, при этом температура должна быть ниже температуры воздуха

в помещении ($\Delta T = 5 - 8^\circ \text{C}$). Удаление нагретого загрязненного воздуха, происходит на уровне потолка помещения [4].

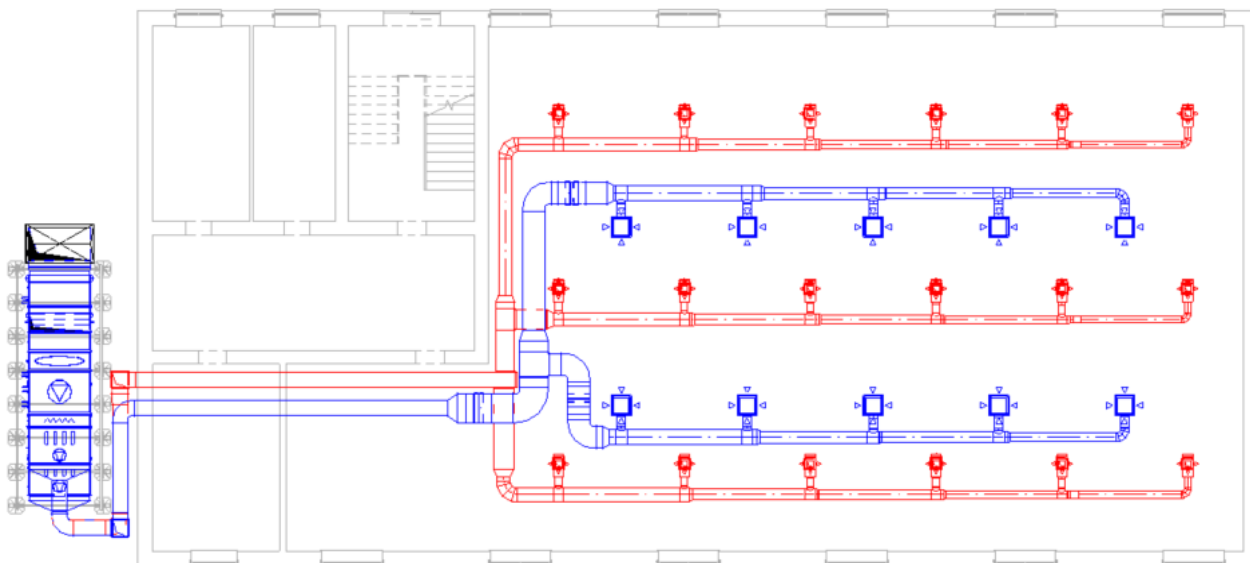


Рисунок 3 – План с нанесением элементов системы кондиционирования при схеме смешиванием

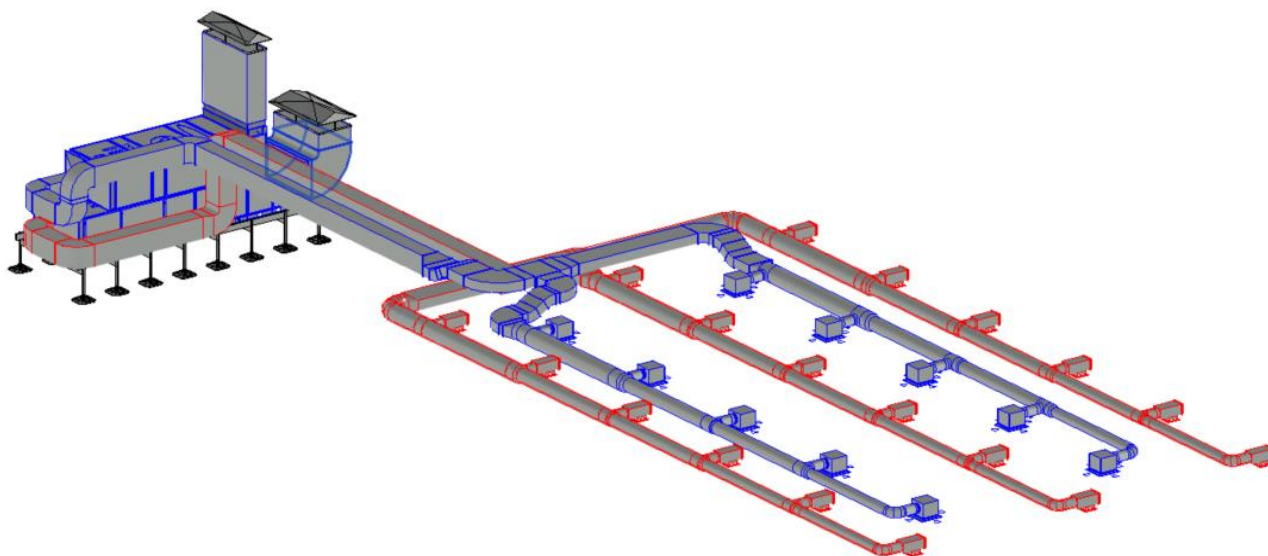


Рисунок 4 – Схема воздухораспределения смешиванием в помещении конференц-зала

Список цитированных источников

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03-2019. – Введ. 16.12.19 (с отменой СНБ 4.02.01-03). – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 68 с.
2. Естественное и искусственное освещение : СН 2.04.03–2020. – Введ. 24.03.2021 (с отменой ТКП 45-2.04-153-2009 (02250)). – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2021. – 69 с.
3. Программа для подбора вентиляционных установок WinClim II компании «Wesper» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e.informer.com/s/wesper.co.uk/espace-pro.aspx/>. – Дата доступа:
4. Янчилин, П. Ф. Методические указания для выполнения курсового проектирования Кондиционирование воздуха и холодоснабжение специальности 1-70 04 02. – Ч. 1 – Брест : БрГТУ, 2020. – 45 с.

УДК 628.162, УДК 628.316

Крук А. С., Зань М. В.

Научные руководители: к. т. н., доцент Андreyok С. В.;

к. т. н., доцент Волкова Г. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ В ЦЕЛЯХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

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.

Выполнен мониторинг показателей качества воды хозяйственно-питьевых водопроводов г. Кобрин и Кобринского района. По состоянию на 01.09.2023 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 подлежат периодическому обследованию участки хозяйственно-питьевого водопровода г. Кобрин и населенных пунктов Кобринского района, находящиеся на балансе Коммунального унитарного производственного предприятия «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 2019–2023 гг. имели место превышения по концентрации нитратов.

Мониторинг показателей качества воды хозяйственно-питьевого водопровода централизованной системы водоснабжения и нецентрализованных локальных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения на примере г. Кобрин и населенных пунктов Кобринского района

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

пресные, умеренно жесткие. 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-ти 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).

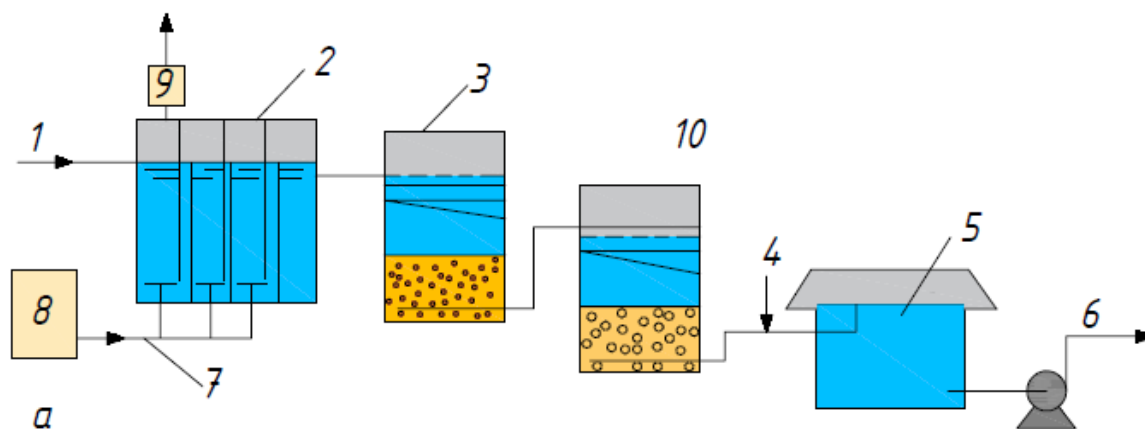
Наряду с недостатками эксплуатационного характера технологические схемы обезжелезивания и деманганации требуют разработки мероприятий по интенсификации процессов водоподготовки по снижению концентрации железа и марганца, с учетом существующих сооружений, в том числе, с применением окислительно-сорбционных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

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 озоновоздушной смеси; 8 – блок подготовки воздуха и синтеза озона; 9 – аппарат каталитического разложения озона; 10 – угольный фильтр; 11 – дегазатор-аэратор; 12 – смеситель; 13 – подача коагулянта (в случае необходимости); 14 – турбовоздуходувка

Рисунок 1 – Схема очистки подземных вод от соединений железа, марганца и органических соединений

Экспериментальные 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 озономера 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

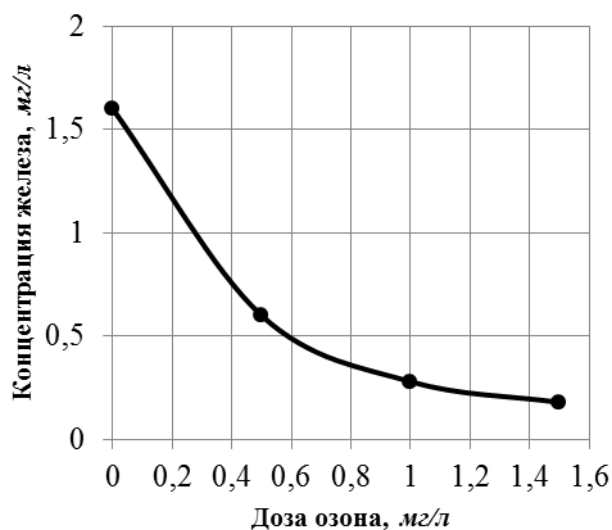


Рисунок 2 – Зависимость остаточной концентрации железа общего от дозы озона

гарантированно достичь нормативного значения концентрации железа в обрабатываемой воде.

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

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 – $0,3 \text{ мг/дм}^3$. 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 $8\text{--}11 \text{ мг/дм}^3$) и, соответственно, минимальные концентрации железа (не обн. $\text{--}0,3 \text{ мг/дм}^3$) 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 $20\text{--}50 \text{ мг/дм}^3$).

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 системы питьевого водоснабжения автономных объектов

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.

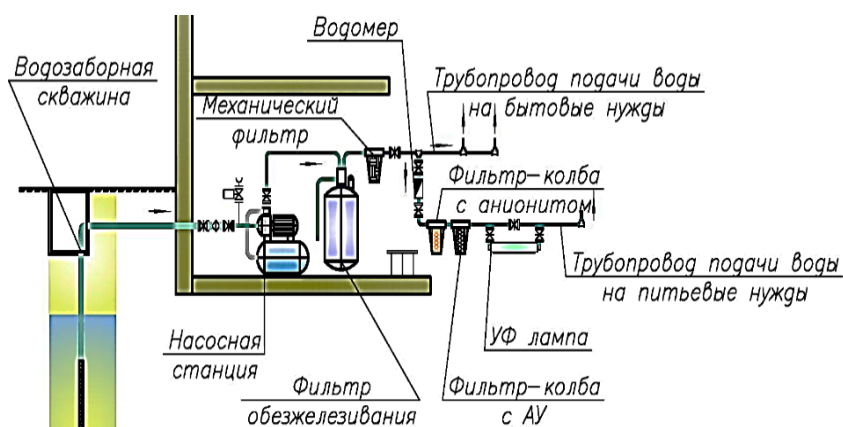


Рисунок 3 – Технологическая схема очистки подземных вод для системы питьевого водоснабжения автономных объектов

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 последую-

ющую водоподготовку. Вода второго потока проходит подготовку на сильноосновных ионообменных смолах, сорбционную очистку на активных углях, обеззараживание ультрафиолетовой лампой, далее поступает потребителю на питьевые нужды.

Заключение

По результатам экспериментальных и расчетных данных определена эффективность технологических схем обезжелезивания и деманганации действующих станций обезжелезивания.

Выполнена статистическая обработка данных по качеству проб воды в результате обследования участков хозяйственно-питьевого водопровода г. Кобрин и населенных пунктов 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 систем питьевого водоснабжения автономных объектов.

Список цитированных источников

1. Андреек, С. В. Мониторинг качества подземных вод нецентрализованных систем питьевого водоснабжения на содержание нитратов / С. В. Андреек, 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. – С. 459–462.
2. Зань, М. В. Аналитический обзор состояния и перспективные направления исследований по проблемам охраны и использования вод природной среды Беларуси / М. В. Зань, А. С. Крук // Инженерно-экологические аспекты и перспективы развития систем водоснабжения и водоотведения : сб. научн. статей Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 28 марта 2024 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик, С. В. Андреек. – Брест : БрГТУ, 2024. – С. 128–139.
3. Andreyuk, S. V. Study of methods for physico-chemical treatment of groundwater from nitrates / S. V. Andreyuk, M. V. Zan // Vestnik of Brest State Technical University. – 2023. – № 3(132). – P. 15–17.

ОПЫТ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АЭРАЦИИ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИИ

Целью данной работы является изучение модернизации системы аэрации на очистных сооружениях канализации с целью повышения эффективности процесса очистки сточных вод и экономии энергопотребления.

Одним из крупных потребителей электроэнергии в сфере ВКХ является процесс очистки сточных вод. В настоящее время на большинстве канализационных очистных сооружениях Республики Беларусь очистка городских сточных вод осуществляется по классической схеме: механическая очистка от нерастворенных грубодисперсных примесей, биологическая очистка от растворенных органических загрязнений в аэротенках, обеззараживание и выпуск сточных вод.

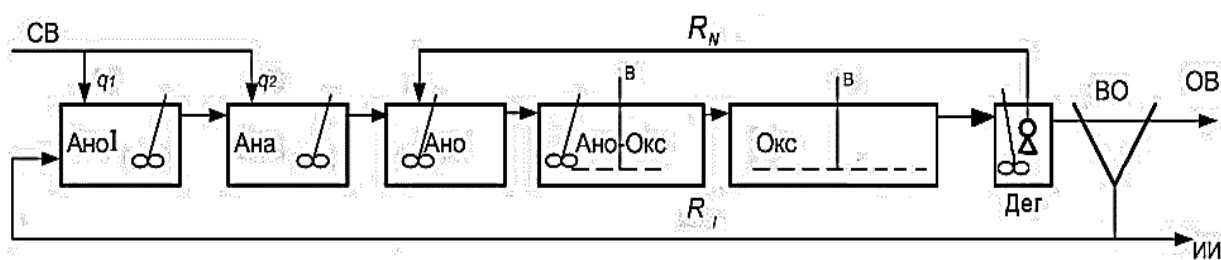
Согласно литературным данным и опыту эксплуатации очистных сооружений, основное потребление электроэнергии связано с аэрацией сточной воды в аэротенках и составляет 67–80 % от общего потребления электроэнергии [1].

Подача воздуха в аэротенки является одним из главных процессов при биологической очистке сточных вод, в тоже время процесс является самым энергозатратным. Главная причина повышенного расхода электроэнергии на очистку городских сточных вод – применение устаревшего оборудования и технологий. Поэтому комплексное решение данных вопросов является актуальной задачей.

Весь комплекс мероприятий, направленных на оптимизацию энергопотребления, можно разделить на три основных группы решений [2]:

- технологический этап – реализация эффективных энергосберегающих технологий очистки сточных вод;
- технические решения – замена аэрационной системы и воздуходувного оборудования;
- оптимизационный этап – оснащение сооружений приборами контроля, учета и мониторинга состояния процесса очистки сточных вод, а также централизация сигналов с оборудования в диспетчерский пункт.

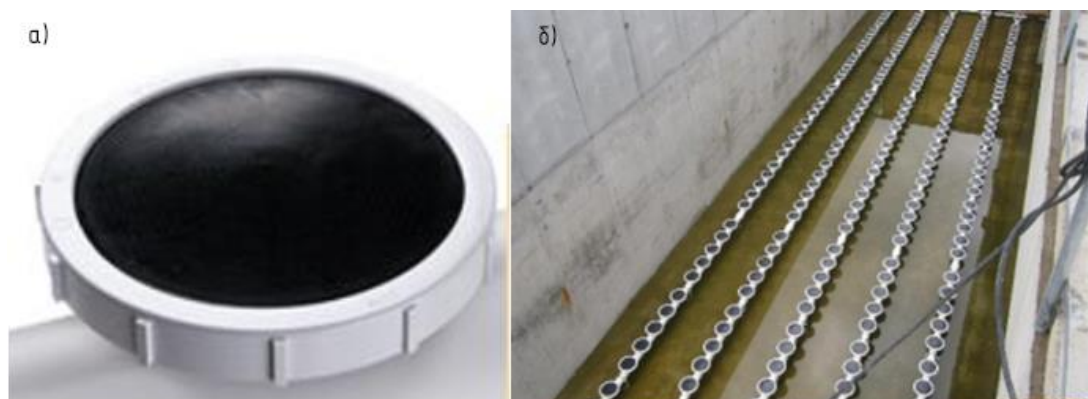
Рассмотрим реализацию данных мероприятий на очистных сооружениях канализации г. Бреста. Брестские очистные сооружения канализации были введены в эксплуатацию в 1969 году, в 2019 году была завершена их реконструкция. В результате реконструкции на очистных сооружениях был реализован *технологический этап* мероприятий по энергосбережению, а именно внедрена технология глубокого удаления биогенных элементов по Йоханнесбургскому процессу (рисунок 1) [3].



*Ано1 – аноксидная зона 1 (предденитрификатор); Ана – анаэробная зона;
 Ано – аноксидная зона; Окс – оксидная зона; Ано-Окс – переходная зона;
 Дег – зона дегазации; ВО – вторичный отстойник; СВ – подача сточных вод;
 ОВ – очищенная вода; ИИ – избыточный ил; В – подача воздуха;
 Ri – рециркуляция активного ила; RN – рециркуляция нитратсодержащей иловой смеси*
Рисунок 1 – Йоханнесбургский процесс, внедренный на Брестских очистных сооружениях канализации

С точки зрения энергосбережения здесь важны аноксидные зоны, где проходит денитрификация, что обеспечивает возврат кислорода через связанные формы азота (NO_2 , NO_3). В зависимости от продолжительности денитрификации можно восстановить до 63 % кислорода (т. е. электроэнергии!), потраченного на нитрификацию. Также некоторая часть кислорода, потраченная на нитрификацию, восстанавливается в аноксидной зоне вначале аэротенка при денитрификации возвратного активного ила.

Реализация *технических решений* по оптимизации энергопотребления заключается в замене аэрационной системы. В аэротенках №№ 1, 2 Брестских очистных сооружений канализации зоны нитрификации оборудованы системой аэрации в комплекте с дисковыми мембранными аэраторами Sanitaire Silver Series II тип WE-Silver 9'' (рисунок 2а). Данные аэраторы подходят для систем, требующих высокую эффективность аэрации и низкие операционные затраты, с высокой плотностью покрытия донной зоны с низкими уровнями потока. Дисковые мембранные аэраторы практически не подвержены биообрастанию, обладают наилучшей способностью к управлению, в значительно меньшей степени кальматируются [4]. Для достижения большего энергосберегающего эффекта раскладка аэрационных элементов была выполнена по принципу 100 %-ного покрытия днища аэротенка (рисунок 2б).



а – аэратор Sanitaire Silver Series II тип WE-Silver 9'' ; б – раскладка аэрационных элементов
Рисунок 2 – Аэрационная система Брестских очистных сооружений канализации

К *техническим решениям* относится также замена воздуходувок. В настоящее время для подачи воздуха в аэротенки применяют два типа одноступенчатых центробежных высокопроизводительных воздуходувок со встроенным редуктором: воздуходувка SIEMENS-HOWDEN KA22SV-GL225 мощностью 355 кВт производительностью 17000 м³/час воздуха – 1 шт. и воздуходувки марки HV-TURBO KA22 SV мощностью 308 кВт производительностью 17000 м³/час воздуха – 4 шт.

Воздуходувки могут работать как в ручном, так и в автоматическом режиме. В автоматическом режиме эксплуатация групп воздуходувок регулируется по давлению в воздушном коллекторе и расходам подачи воздуха в различные секции аэротенков, что приводит к снижению расхода энергии.

Управление воздуходувками тесно связано с внедрением *оптимизационных решений*: оснащение сооружений приборами контроля, учета и мониторинга состояния процесса очистки сточных вод. Выбор контрольно-измерительных приборов следует осуществлять с учетом специфики технологического процесса на сооружениях биологической очистки сточных вод.

Для регулирования расхода воздуха, подаваемого в реконструируемые аэротенки №№ 1, 2, выполнена установка на системе воздухоснабжения тепловых массовых расходомеров воздуха t-mass Proline t-mass B150 HARD и дисковых поворотных межфланцевых затворов с электроприводом AUMA SA и блоком управления AUMA AC 1.02 (рисунок 3). Автоматизация подачи воздуха в аэротенках осуществляется по концентрации растворенного кислорода, измеряемой датчиками растворенного кислорода Oxumax COS61D. В целом, внедрение автоматизированной системы управления оптимизирует процесс очистки и сокращает трудовые ресурсы.



Рисунок 3 – Дисковый поворотный межфланцевый затвор с электроприводом AUMA SA и блоком управления AUMA AC 1.02

Таким образом, реализация на очистных сооружениях всего комплекса мероприятий – технологических, технических и оптимизационных – позволяет достигнуть улучшения эффективности очистки сточных вод за счет повышения

качества аэрации, снижения затрат на обслуживание и эксплуатацию системы благодаря использованию более эффективного оборудования, осуществления процесс очистки сточных вод с максимальным энергосбережением.

Список цитированных источников

1. Lawrence J. Pakenas, P. E. Energy efficiency in municipal wastewater treatment plants. Technology assessment. New York state, Energy research and development authority. –2012. – 24 pp.
2. Баженов, В. И. Энергосбережение из воздуха / В. И. Баженов. // Энергосвет. – 2013. – № 1. – С. 32–43.
3. Акулич, Т. И. Эффективность схем биологического удаления фосфора и нитриденитрификации на действующих аэротенках / Т. И. Акулич, С. В. Андреюк, А. И. Морозова // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф., Краснодар : КубГАУ, 2021. – С. 422–425.
4. Кузьмич, Д. А. Обзор современных пневматических аэраторов / Д. А. Кузьмич, Е. С. Ильеня // Инженерно-экологические аспекты и перспективы развития систем водоснабжения и водоотведения : сб. научн. статей Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 28 марта 2024 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол. : А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. : А. А. Волчек, О. П. Мешик, С. В. Андреюк. – Брест : БрГТУ, 2024. – С. 61–64.

УДК 697.7

Мороз М. О., Терещук М. Н.

Научный руководитель: к. т. н., заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Новосельцев В. Г.

ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА, ПРОИЗВОДИМОГО МАЙНИНГОВЫМИ ФЕРМАМИ

Майнинг (от англ. mining) в контексте криптовалют является процессом, суть которого заключается в решении сложных математических задач для подтверждения и записи транзакций в блокчейне, а также в создании новых блоков криптовалюты. Этот процесс выполняется специальными вычислительными устройствами (ASIC-майнерами для биткоина, GPU для некоторых других криптовалют), которые решают криптографические задачи, необходимые для обеспечения безопасности и стабильности сети.

Майнинг является важным элементом криптовалютных сетей, поскольку он обеспечивает безопасность и децентрализацию системы. Однако процесс майнинга также связан с высоким энергопотреблением и тепловыделением, особенно в случае майнинг-ферм, где сотни и тысячи устройств работают параллельно для решения задач. В связи с этим вопросами утилизации тепловой энергии, выделяемой в процессе майнинга, все чаще становятся предметом исследований и разработок.

Майнинг-фермы, используемые для добычи криптовалюты, стали значительным потребителем электроэнергии и источником тепловой энергии. В связи с этим возникает необходимость в поиске эффективных методов утилизации этой тепловой энергии. В данной работе мы сосредоточимся на моделировании системы автономной теплофикации, которая использует тепловую энергию, выделяемую майнинг-фермами, в качестве источника тепла для различных целей.

Перспективы развития технологий в области утилизации тепловой энергии при майнинге предоставляют значительные возможности для экономии ресурсов и снижения негативного воздействия на окружающую среду. В этом контексте тепловые насосы становятся ключевым инструментом, позволяющим эффективно использовать тепло, создаваемое в процессе майнинга криптовалюты, для обеспечения теплоснабжения в различных сферах, включая жилые дома, коммерческие объекты и промышленные предприятия.

Целью данной научной работы является разработка модели системы автономной теплофикации на основе тепловых насосов для эффективной утилизации тепловой энергии, выделяемой в процессе работы майнинг-ферм и серверных. Достижение этой цели позволит не только снизить нагрузку на энергетические системы, но и создать дополнительные источники тепла для обогрева и горячего водоснабжения, что приведет к повышению энергетической эффективности и снижению экологического воздействия данной отрасли.

Проблема выброса лишнего тепла в контексте майнинга криптовалюты является значительным вызовом, который требует внимательного рассмотрения из-за его масштабности и потенциальных негативных последствий. Одним из основных источников этой проблемы является высокое энергопотребление, неизбежное при работе майнинг-ферм и серверных, где сотни и тысячи вычислительных устройств функционируют параллельно для выполнения вычислительных задач.

Энергия, потребляемая этими устройствами, преобразуется в тепловую энергию в процессе их работы, что приводит к значительному нагреву окружающей среды. Помимо этого, процессы майнинга, как и работы серверов, требуют постоянного функционирования и, следовательно, постоянного выделения тепла. Это может вызвать повышенное тепловыделение в помещениях, где установлено оборудование, а также привести к перегреву, если системы охлаждения не функционируют должным образом.

Майнинговое оборудование работает круглосуточно, что приводит к постоянному потреблению электроэнергии даже в периоды низкой активности рынка криптовалют. Важным аспектом является также необходимость поддержания оптимальной температуры оборудования, в среднем диапазон рабочих температур от 0°C до $+40^{\circ}\text{C}$ для предотвращения его перегрева [1]. Для этого требуются мощные системы охлаждения, которые также потребляют значительные объемы электроэнергии.

Решение этой проблемы требует разработки и внедрения эффективных методов утилизации тепловой энергии, выделяемой в процессе майнинга криптовалюты. Такие методы могут включать в себя использование тепловых насосов, теплообменников и других инновационных технологий для переработки и использования лишней тепловой энергии в полезные цели, такие как отопление или подготовка горячей воды.

Тепловыделение в майнинговых фермах играет ключевую роль, поскольку часть энергии, потребляемой оборудованием, преобразуется в тепло. Системы охлаждения должны эффективно удалять это тепло, чтобы обеспечить стабильную работу оборудования. Из-за этого значительная часть затрат на электроэнергию направляется на работу систем охлаждения.

С учетом того, что энергопотребление является одним из основных операционных затрат в майнинге криптовалюты, майнинговые компании постоянно ищут способы снижения энергопотребления и оптимизации операционных расходов. Это может включать в себя выбор энергоэффективного оборудования, поиск местоположений с доступной и дешевой электроэнергией или реализацию инновационных технологий для эффективного использования выделяемой тепловой энергии.

Осуществление энергетического метаболизма майнинга, с одной стороны, требует значительных ресурсов для питания специализированных вычислительных устройств, что приводит к повышенной потребности в электроэнергии. С другой стороны, это также приводит к интенсивной генерации тепла, которое, традиционно, рассматривается как "отход" и отводится через системы охлаждения. Однако, перспектива эффективного использования этого тепла для нагрева воды или для других тепловых нужд представляет собой значительный потенциал с точки зрения снижения энергетических потерь и оптимизации энергетического оборудования.

Направленное использование тепла, генерируемого майнингом криптовалют, может не только смягчить негативное воздействие на окружающую среду за счет эффективной утилизации отходной энергии, но также обеспечить дополнительные ресурсы для отопления и горячего водоснабжения в различных сферах человеческой деятельности. Это позволяет решить проблемы, связанные с неэффективным использованием ресурсов и снизить зависимость от традиционных источников энергии.

Некоторые из принципов утилизации тепла уже реализованы в базовых центрах обработки данных (далее – ЦОД), где тепло, произведенное в результате вычислительных процессов, активно используется в различных целях. Одним из успешных примеров является использование тепла европейского дата-центра Facebook в городе Оденсе (Дания), генерируемого вычислительным оборудованием, для обогрева зданий или подогрева воды [2].

Принцип такого подхода заключается в том, что тепло, выделяемое работающими серверами и другими устройствами в ЦОДе, перехватывается и направляется на нагрев воздуха или воды, заменяя или снижая потребность в дополнительных источниках тепла. Для этого могут использоваться тепловые насосы, вентиляционные системы и другие инженерные решения.

Такие решения не только позволяют уменьшить воздействие на окружающую среду за счет сокращения энергопотребления и выбросов парниковых газов, но и предоставляют дополнительные экономические выгоды за счет снижения затрат на энергию и обеспечения дополнительных доходов от продажи избыточного тепла или услуг теплоснабжения.

Список цитированных источников

1. Advanced Solutions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.adv-vent.ru/blog/sistema-ventilyacii-i-ohlazhdeniya-majning-fermy>. – Дата доступа: 16.03.2024.
2. Facebook's hyperscale data center warms Odense [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tech.facebook.com/engineering/2020/7/odense-data-center-2/>. – Дата доступа: 16.03.2024.
3. Программа для подбора вентиляционных установок WinClim II компании «Wesper». <http://e.informer.com/s/wesper.co.uk/espace-pro.aspx/>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНОВ ПО ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Физико-химические процессы на поверхности строительных материалов протекают постоянно. В зависимости от химического и минералогического состава, пористости материала в бетонах происходят соответствующие процессы выщелачивания, переноса, образования и кристаллизации солей. Диоксид углерода, содержащийся в атмосфере, реагируя с водой, образует химически слабую угольную кислоту, вызывающую растворение карбонатов. Вяжущее бетона – цемент, обладая щелочными свойствами, не устойчив к воздействию кислых сред. Карбонизация бетона приводит к снижению щелочности и вызывает коррозию незащищенной стальной арматуры.

Концентрация углекислого газа в атмосферном воздухе существенно влияет на процесс карбонизации бетонов, скорость которого повышается с увеличением содержания углекислого газа и увеличения температуры. Следует отметить, что диффузия углекислого газа во влажном воздухе происходит примерно в 10000 раз быстрее, чем в воде, увлажняющей защитный слой бетона.

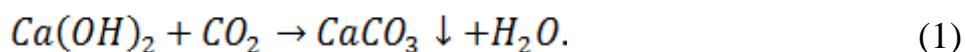
В бетоне, который эксплуатировался в агрессивной атмосфере с содержанием кислых газов, обычно выделяют три основных слоя [1]:

- 1) внешний, нейтрализованный газом, образующим более сильную кислоту, чем угольная;
- 2) средний, карбонизированный;
- 3) внутренний, не подвергшийся действию кислых газов.

После карбонизации защитного слоя бетона на всю его глубину интенсифицируется коррозия стальной арматуры, которая является основной причиной разрушения железобетонных конструкций.

В настоящее время проблемным является вопрос критериев оценки состояния бетона, его защитных свойств по отношению к стальной арматуре. Согласно исследованиям В.И. Бабушкина, бетон теряет свои защитные свойства по отношению к арматуре при $pH < 11.8$, но это не означает, что степень карбонизации при таком показателе будет минимальной. Снижение значения pH в вытяжках бетона не может являться критерием оценки содержания углекислого газа в поровой структуре бетона. Очевидно, что содержание углекислого газа и других кислых газов в поверхностных слоях бетона будет выше, а значение pH ниже, но какая глубина проникновения углекислого газа вглубь бетона?

Под химическим процессом карбонизации понимают реакцию гидроксида кальция с диоксидом углерода из воздуха с образованием карбоната кальция [2].



В результате образования карбоната кальция (CaCO_3) уменьшается значение рН, что снижает защитные свойства бетона по отношению к арматуре. Однако на снижение величины рН оказывают влияние и другие кислотные оксиды, содержащиеся в атмосферном воздухе. К ним относятся оксиды азота различной валентности, оксиды серы и другие примеси.

Поскольку карбонат кальция является гигроскопичной солью, то при образовании его в порах материала уровень влажности повышается даже при температурах ниже точки росы. Причем, чем тоньше поры, тем интенсивнее конденсация на поверхности пор, нарушающая равновесную влажность строительного материала. Растворимая соль кальция впоследствии вымывается из материала грунтовыми или дождевыми водами, либо проникает в глубь материала. Растворимость соли, также, является важным критерием агрессивного воздействия, обуславливающего ее перенос внутрь материала.

Так, растворимость:

- карбоната кальция (CaCO_3) – 0,0015 г/ на 100 г;
- нитрата кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) – 266 г/ на 100 г воды;
- сульфата кальция (CaSO_4) – 0,24 г/на 100 г;
- хлорида кальция (CaCl_2) – 75 г/ на 100 г воды.

При сравнении растворимости солей кальция очевидно, что растворимость карбоната кальция значительно меньше, чем у других солей. Однако концентрации оксидов азота, серы в атмосферном воздухе многократно меньше [3].

В работе мы предприняли попытку определить зависимость степени карбонизации, содержания ионов кальция и водородного показателя в образцах бетонов некоторых мостовых сооружений и путепроводов Минского района, расположенных на автомагистрали Е28 Минск – Гродно. Из сорока исследуемых мостов для определения степени карбонизации были выбраны образцы бетонов мостовых сооружений с самыми низкими и самыми высокими значениями рН водных вытяжек.

Степень карбонизации бетона характеризуется химически связанным с цементным камнем диоксидом углерода, которая определяется в процентах от массы цемента в соответствии с СТБ 1481-2011. Показатель рН определялся потенциометрическим способом на приборе HANNA рН 211 Microprocessor рН Meter. Содержание кальция определялось по стандартной методике в соответствии с ГОСТ.

Предварительные результаты исследования образцов бетона конструктивных элементов путепроводов и мостовых сооружений показывают, что степень карбонизации, как оценка состояния защитного слоя бетона, зависит как от содержания ионов кальция (Ca^{2+}), так и от водородного показателя (рН). При физико-химическом анализе образцов строительных материалов, специалисты не всегда определяют степень карбонизации, считая достаточным, установление показателя рН водной вытяжки.

Однако нами было установлено, что при низких и высоких значениях рН водных вытяжек из бетонных образцов, степень карбонизации может иметь приблизительно одинаковые значения. При этом значения содержания ионов кальция значительно различаются.

Так, при значении рН = 8,47 содержание ионов кальция составляет 30 мг/л, а при значении рН = 9,36 содержание ионов кальция составляет 96 мг/л.

Результаты исследований приведены в таблицах 1, 2.

Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать вывод о том, что при увеличении степени карбонизации (5,98; 6,36; 7,23; 7,36;) увеличивается значение водородного показателя. Высокое содержание ионов кальция соответствует высоким значениям рН.

Таблица 1 – Результаты исследований образцов элементов моста 24

Название элемента	Степень карбонизации (%)	Содержание ионов Ca^{2+} (мг/л)	рН
Балка 2	5,98	36	8,26
Насадка	6,36	44	8,39
Стойка	7,23	30	8,47
Балка 1	7,36	24	8,93

Таблица 2 – Результаты исследований образцов бетона моста 26

Название элемента	Степень карбонизации (%)	Содержание ионов Ca^{2+} (мг/л)	рН
Насадка	7,61	64	10,43
Стойка	7,98	92	9,36

По полученным опытным данным были построены графические зависимости степени карбонизации от химических показателей (рН, Ca^{2+}). Графические зависимости представлены на рисунках 1, 2.

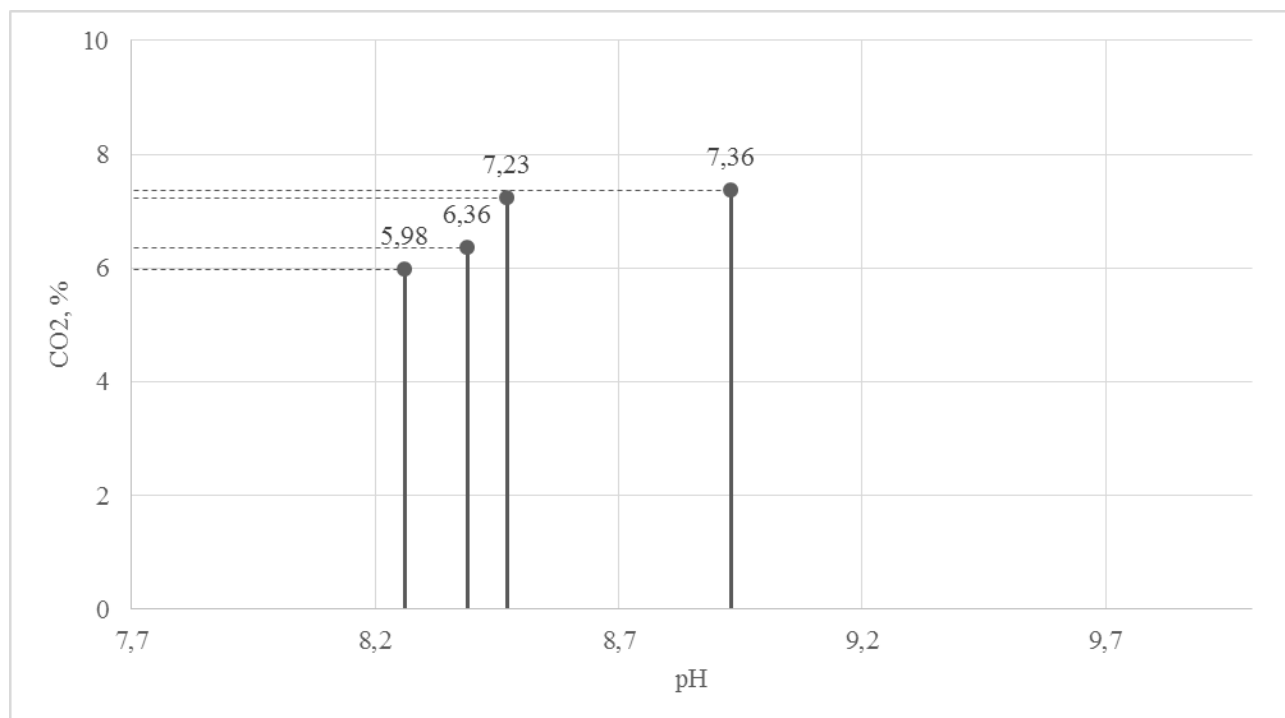


Рисунок 1 – Зависимость степени карбонизации образцов бетона моста 24 от рН водных вытяжек

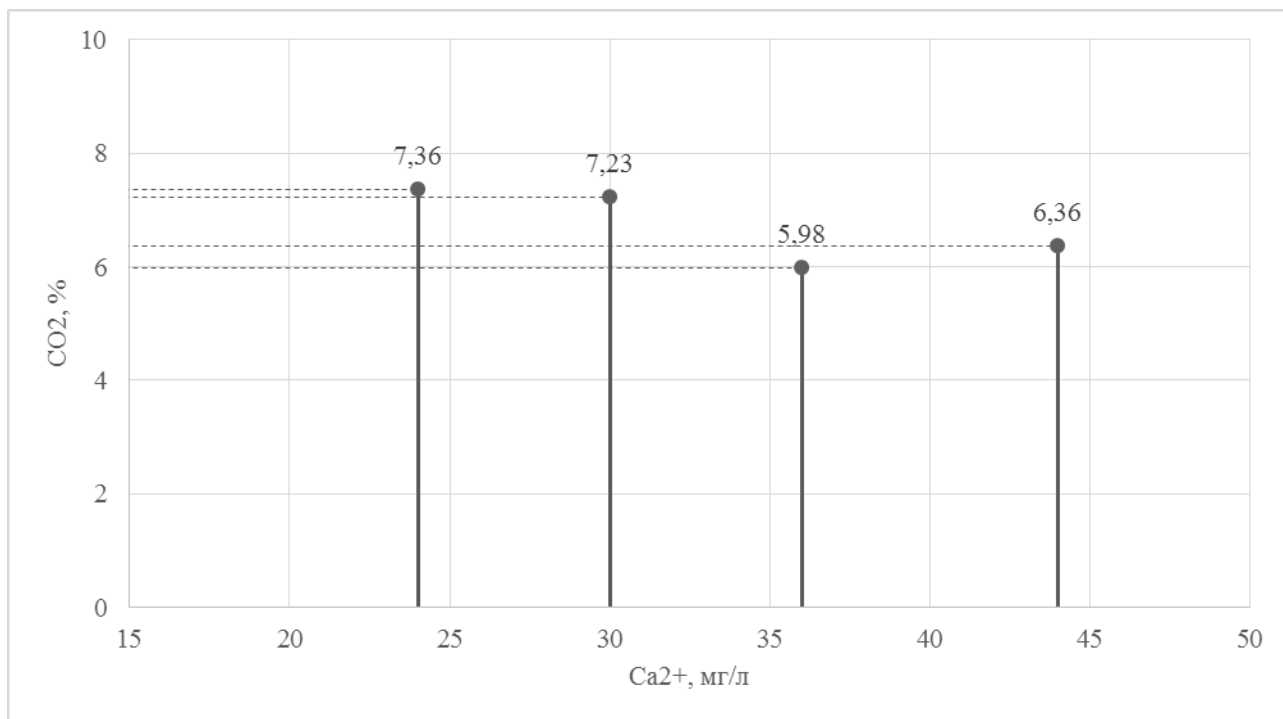


Рисунок 2 – Гистограмма зависимости степени карбонизации бетона моста 24 от содержания ионов Ca²⁺

При оценке процессов карбонизации бетонов, кроме химических показателей, необходимо учитывать условия и сроки эксплуатации сооружения, марку бетонов по водонепроницаемости, наличие дефектов и повреждений.

Список цитированных источников

1. Москвин, В. М., Иванов, Ф. М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев ; под общ. ред. В. М. Москвина. – М. : Строиздат 1980. – 536 с.
2. Фрессель, Ф. Ремонт влажностных и поврежденных солями строительных сооружений / Ф. Фрессель. – М. : Пэйнт-Медиа, 2006 – 320 с.
3. Голдовская, Л. Ф. Химия окружающей среды / Л. Ф. Голдовская. – 3-е изд.- М. : Мир ; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 295 с.

УДК 691.51

Русак Е. Ю.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Тур Э. А.

КОМПЛЕКСНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ Г. ПИНСКА

Для нашей страны глубокое изучение и всестороннее использование памятников наследия имеет особое значение. Изучение, сохранение и реставрация недвижимых объектов историко-культурного наследия являются необходимым условием предупреждения процесса разрушения национального богатства и сохранения духовности нашего народа. 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].

Компоненты, включенные в термин «историко-культурные ценности», входят в понятие «историко-культурное наследие». Материальные историко-культурные ценности делятся на следующие категории:

– категория «0» – историко-культурные ценности, имеющие всемирное значение и включённые или предложенные на включение в Список всемирного культурного и природного наследия;

– категория «1» – историко-культурные ценности, имеющие международное значение;

– категория «2» – историко-культурные ценности, имеющие национальное значение;

– категория «3» – историко-культурные ценности, имеющие значение для отдельного региона Республики Беларусь;

– без категории – материальные культурные ценности, входящие в состав комплекса, ансамбля, комплекта, коллекции материально-культурных ценностей, но которым отдельно не придан статус историко-культурной ценности [1].

3 февраля 2017 года вступил в силу Кодекс Республики Беларусь о культуре, которым регулируются вопросы охраны историко-культурного и археологического наследия Республики Беларусь [2]. Кодексом установлена процедура, после выполнения, которой разрешается производить работы на историко-культурной ценности.

В составе научно-проектной документации разрабатывается раздел «Комплексные научные изыскания» (КНИ), который состоит из фотофиксации, обмеров, исторических, археологических и химико-физических исследований.

Обязательное проведение химико-физических исследований помогает принять правильные проектные решения по применению отделочных материалов (штукатурных и кладочных растворов, окрасочных составов) на историко-культурных ценностях и, соответственно, увеличению долговечности проведенных ремонтно-реставрационных работ. Данные работы, как правило, начинаются с комплексного технического обследования зданий.

При проведении обследования очень часто выясняется, что кроме реставрации самого фасада здания, необходимо выполнить комплекс работ по устранению причин капиллярного подсоса влаги в ограждающие конструкции здания или сооружения, ремонт кровли и водосточных систем [3, 4]. При невыполнении рекомендаций по ремонту кровли и водостоков из-за постоянной повышенной влажности имеется большая вероятность протекания биологической коррозии (образование водорослей и мхов) на наружных стенах.

Многие десятилетия из-за отсутствия средств реставрация зданий в большинстве случаев сводилась лишь к легкому косметическому ремонту. Неоднократные ремонты привели к образованию многослойного пирога из цементной, известковой штукатурки и различных по качеству других отделочных материалов [3, 4, 5].

В рамках работы над разделами КНИ были проведены многочисленные комплексные научные исследования недвижимых объектов историко-культурного наследия (исторических зданий) г. Пинска Брестской области. В основном, это объекты категории «2» – историко-культурные ценности, имеющие национальное значение. Появилась необходимость проведения анализа

физико-химических и органолептических исследований аутентичных строительных растворов и аутентичных окрасочных составов, выполненных за этот период времени. Перечень наиболее значимых исследованных объектов историко-культурного наследия г. Пинска приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Исследованные исторические объекты в г. Пинске

№	Наименование объекта
1	Жилой дом по ул. Комсомольській, д.14
2	Одноэтажное здание в историческом центре по ул. Комсомольской, д.21
3	Жилое здание по ул. Комсомольской, 41
4	Жилое здание по ул. Ленина, д.31 (реконструкция под административно-хозяйственный объект)
5	Жилой дом по ул. Ленина, д.28
6	Административный объект по ул. Ленина, 41
7	Здание по ул. Ленина, 29
8	Здание специализированной розничной торговли по ул.Ленина, 19
9	Здание по ул. Завальной, д.7
10	Здание радиоузла под административное здание по ул. Завальной, д.39
11	Здание поликлиники по ул. Завальной, д.18
12	Жилое здание по ул. Советской, 22
13	Жилое здание по ул. Советской, 6
14	Административный объект по ул. Горького, 36
15	Здание станции переливания крови по ул. Горького, д.43
16	Жилой дом №4 по ул. Кирова
17	Здание бывшей синагоги «Конфедерацкая» по ул. Кирова, 10а
18	Административное здание по ул. Заслонова, д.13
19	Здание магазина по ул. Первомайской, д.12
20	Объект общественного питания по ул. Днепровской флотилии, 29

Исследованные исторические здания и сооружения находились на следующих улицах г. Пинска: ул. Комсомольская – 3 здания (№№ 1, 2, 3), ул. Ленина – 5 зданий (№№ 4, 5, 6, 7, 8), ул. Завальная – 3 здания (№№ 9, 10, 11), ул. Советская – 2 здания (№№ 12, 13), ул. Горького – 2 здания (№№ 14, 15), ул. Кирова – 2 здания (№№ 16, 17), ул. Заслонова – 1 здание (№ 18), ул. Первомайская – 1 здание (№ 19), ул. Днепровской Флотилии – 1 здание (№ 20).

В рамках раздела «Комплексные научные изыскания» (КНИ) были проведены физико-химические исследования строительных растворов и окрасочных составов образцов, отобранных с фасадов здания. Для исследований были представлены штукатурные, кладочные и затирочные известково-песчаные и известково-цементно-песчаные растворы, а также фрагменты стены здания (зондажи). Для анализа представленных образцов применялись микрохимический, гранулометрический и петрографический методы исследований [3, 4, 5, 6].

Гранулометрический состав заполнителей определялся путем просеивания через сита 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 категории «0», «1» и «2»).

Аутентичные штукатурные растворы зданий по ул. Комсомольской являются известково-песчаными и характеризуются широким диапазоном

количественного соотношения вяжущее:заполнитель (известь:кварцевый песок): от 1:2,5 до 1:6. Гранулометрические составы заполнителей большинства строительных растворов очень близки (за исключением здания по ул. Комсомольская, 21). Это дает возможность предположить, что кварцевый песок (заполнитель) был привезен из одного карьера.

Аутентичные штукатурные растворы зданий по ул. Ленина также являются известково-песчаными и характеризуются различным диапазоном количественного соотношения вяжущее:заполнитель (известь:кварцевый песок). Здания по ул. Ленина, 28, 31 41 первоначально были оштукатурены растворами с соотношением вяжущее: заполнитель от 1:4 до 1:5, а здания по ул. Ленина, 19 и 29 – от 1:2 до 1:2,5. Гранулометрические составы заполнителей большинства строительных растворов очень близки к гранулометрическим составам заполнителей аутентичных растворов зданий по ул. Комсомольской (за исключением здания по ул. Комсомольская, 21). Это дает возможность предположить, что кварцевый песок (заполнитель) также был привезен из одного карьера.

На фасадах зданий по ул. Завальной был обнаружен только один аутентичный известково-песчаный раствор с соотношением вяжущее: заполнитель = 1:3,5–1:4. Гранулометрический состав заполнителя (кварцевого песка) идентичен с гранулометрическими составами заполнителей штукатурных растворов с фасадов зданий по ул. Ленина и ул. Комсомольской. К сожалению, на фасадах здания бывшего радиоузла (д. 39) и поликлиники (д. 18) не были обнаружены аутентичные штукатурные растворы. Вероятно, они были полностью удалены при более поздних ремонтах. Были обнаружены лишь современные известково-цементно-песчаные растворы с соотношением компонентов известь:цемент:песок 1:1:4 – 1:1:5.

Аутентичные штукатурные составы зданий по ул. Советской практически идентичны как по соотношению известь:песок = 1:4, так и по гранулометрическому составу заполнителя. Данные растворы очень близки по гранулометрическому составу заполнителя составов с фасадов зданий по ул. Завальной и ул. Ленина.

Аутентичные штукатурные составы зданий по ул. Горького очень близки по соотношению компонентов и составу, а также по гранулометрическому составу заполнителя составов с фасадов зданий по ул. Завальной, ул. Ленина и ул. Советской. Вероятно заполнитель (кварцевый песок) был привезен из одного карьера. На здании станции переливания крови (ул. Горького, 43) не были обнаружены аутентичные известково-песчаные растворы, а только современные известково-цементно-песчаные растворы с соотношением компонентов известь:цемент:песок 1:1:4 – 1:1:5 (так же, как на двух зданиях по ул. Завальной). Вероятно, аутентичные штукатурные растворы были полностью удалены при ремонтных работах и не были исследованы. Во всяком случае, в ранней проектной документации таких данных нет.

Здания по ул. Кирова в основном характеризуются штукатурными составами, идентичными (по соотношению компонентов раствора и гранулометрическому составу заполнителя) составам с ул. Завальной и ул. Ленина. Лишь один штукатурный состав выпадает из «общей картинки» – это состав с соотношением известь:песок = 1:8 – 1:9 («бедный» раствор с низким содержанием извести). Но и в нем заполнитель по гранулометрическому составу практически не отличается от заполнителей других штукатурных растворов исторической части Пинска.

Аутентичные штукатурные составы зданий по ул. Заслонова, Первомайской и Днепровской Флотилии по соотношению компонентов похожи на рассмотренные ранее составы исторической части города, но один состав (предположительно более позднего периода) напоминает по соотношению компонентов «бедный» раствор, отобранный с фасада здания по ул. Завальной (соотношение известь:песок = 1:9 – 1:10).

Некоторые соответствующие растворы очень близки по соотношению компонентов и составу, а также по гранулометрическому составу заполнителя. Ряд растворов кардинально отличается по соотношению компонентов вяжущее:заполнитель и по гранулометрическому составу заполнителя. Минеральный состав заполнителя – полевошпатово-кварцевый, в основном, кварцевый песок. Во многих известково-песчаных составах отмечены отдельные вкрапления извести размером 1–2 мм.

В результате анализа проведенных исследований установлено, что 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), но также являются известково-песчаными. Ремонтные штукатурные и затирочные растворы современного исторического периода по составу являются известково-цементно-песчаными.

Цвет аутентичных окрасочных составов определяли по каталогу «3D plus» компании CAPAROL, по каталогу «FASSADE A1» компании CAPAROL и по специализированному каталогу реставрационных красок «Histolith» компании CAPAROL, применяемыми в настоящее время архитекторами-реставраторами в Республике Беларусь. Цвет составов определяли путем визуального сравнения образца с эталонной типографской выкраской [3, 5, 6, 7]. Для устранения метамерии определение цвета проводили при рассеянном естественном освещении.

Следует отметить, что русты, пилястры и венчающие карнизы большинства зданий первоначально были окрашены минеральными составами белого цвета. Лишь у отдельных зданий элементы фасадов первоначально были окрашены в желтые и лимонно-желтые тона (здания по ул. Ленина и по ул. Завальной). Основные плоскости стен фасадов большинства анализируемых объектов первоначально были окрашены составами, имеющими бежевую и желтовато-бежевую цветовую гамму (14 зданий из 20-ти анализируемых).

Фасады нескольких зданий из двадцати анализируемых первоначально имели цветовое решение в красно-коричневой (1-й этаж здания по ул. Заслонова), оранжево-коричневой (здание по ул. Завальной и здание по ул. Горького) и темно-оранжевой (здание по ул. Завальной) цветовой гамме. Одно здание по ул. Комсомольской первоначально было окрашено минеральным составом бледно-фиолетового цвета. Одно из зданий – составом блекло-зеленого цвета на минеральной основе (ул. Комсомольская), одно здание по ул. Горького – составом светло-серого цвета на минеральной основе.

Большинство зданий в различные исторические периоды многократно штукатурились, затирались и перекрашивались составами на различной основе. Следует отметить, что в более ранние периоды времени окрасочные работы производились минеральными составами, чаще всего на основе охры (в желтовато-бежевой цветовой гамме), а в более поздний период – совершенно отличающимися по физико-химическим свойствам полимерными составами, не соответствующими ранним по химическому составу. Во многих случаях это привело к отсутствию межслойной адгезии. Кроме того, определено, что аутентичное цветовое решение многих зданий кардинально отличалось от цветовых решений последних ремонтов. К сожалению, во времена Советского Союза ремонт фасадов проводился регулярно, но без проведения каких-либо обследований, и состоял в расчистке фасада в местах отслоения краски или штукатурного покрытия. Таким образом, на многих значимых и представляющих интерес объектах, аутентичные окрасочные составы были полностью безвозвратно утрачены.

В результате проведенного анализа определены основные тенденции формирования цветового решения исторической застройки г. Пинска: фасады большинства исследованных объектов историко-культурного наследия первоначально были окрашены минеральными составами, имеющими бежевую и желтовато-бежевую цветовую гамму, а декоративные элементы (междуэтажные и венчающие карнизы, русты и пилястры) первоначально были окрашены минеральными составами белого цвета.

В настоящее время ремонтно-реставрационные работы на большинстве объектов завершены. Все виды работ на данных объектах проводились в соответствии с действующим законодательством в сфере охраны историко-культурного наследия Республики Беларусь, опирались на многосторонние комплексные исследования [8, 9, 10, 11, 12, 13]. Внедрение результатов научно-исследовательской работы в проектирование и производство позволило обеспечить принятие научно-обоснованных решений при разработке проектно-сметной документации и проведении всех видов работ на конкретных недвижимых объектах историко-культурного наследия.

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. Абрамскі, 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. Скальный, В. С. Проблемы сохранения, причины разрушения и первичное обследование недвижимых памятников архитектуры и истории : моногр. / В. С. Скальный, Е. В. Косыгин. – Орел : ГАУ, 2003. – 201 с.
4. Фрессель, Ф. Ремонт влажных и повреждённых солями строительных сооружений / Ф. Фрессель. – М. : Пэйнт-медиа, 2006. – 320 с.
5. Ивлиев, А. А. Реставрационные строительные работы / А. А. Ивлиев, А. А. Калыгин. – М. : ПрофОбрИздат, 2001. – 272 с.

6. Подъяпольский, С. С. Реставрация памятников архитектуры: учебное пособие для вузов / С. С. Подъяпольский [и др.] ; под общ. ред. С. С. Подъяпольского, 2-е изд. – М. : Стройиздат, 2000. – 288 с.

7. Брок, Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / Т. Брок, М. Гротеклаус, П. Мишке. – пер. с англ. под ред. Л. Н. Машляковского. – М. : Пэинт-Медиа, 2004. – 548 с.

8. 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 гос. технич. ун-та. – 2017 – № 1: Строительство и архитектура. – С. 128–131.

9. Тур, Э. А. Исследование минеральных материалов, использованных при постройке дворцового комплекса Сапегов в Ружанах / Э. А. Тур, С. В. Басов // Вестник Брестского гос. технич. ун-та. – Брест : БрГТУ, 2014. – № 1 : Строительство и архитектура. – С. 88–91.

10. Тур, Э. А. Комплексные научные исследования фасадов костела святых Петра и Павла в д. Рожанка Гродненской области / Э. А. Тур [и др.] // Вестник Брестского гос. технич. ун-та. – 2020. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 147-152.

11. Тур, Э. А. К вопросу о сохранении объектов историко-культурного наследия в г. Бресте / Э. А. Тур, С. В. Басов // Вестник Брестского гос. технич. ун-та. – 2018. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 17–21.

12. Тур, Э. А. Комплексные научные исследования руин усадьбы «Наднёман» в д. Наднёман Узденского района Минской области как объекта историко-культурного наследия / Э. А. Тур [и др.] // Вестник Брестского гос. технич. ун-та. – 2021. – № 1: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология), экономические науки. – С. 33–38.

13. Тур, Э. А. Свято-Рождества-Богородицкая церковь-крепость оборонительного типа в д. Мурованка Гродненской области как объект историко-культурного наследия Республики Беларусь / Э. А. Тур [и др.] // Вестник Брестского гос. технич. ун-та. – 2023. – № 2: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология), экономические науки. – С. 32–38.

УДК 697.95

Рязанова К. А., Сафонова А. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИИ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД

Кондиционирование воздуха осуществляется комплексом технических средств, называемых системой кондиционирования воздуха. В состав входят технические средства забора воздуха (фильтры, теплообменники, увлажнители или осушители воздуха, вентиляторы), а также средства хладо- и теплоснабжения, автоматики, дистанционного управления и контроля.

Автоматизированная система кондиционирования поддерживает заданное состояние воздуха в помещении независимо от колебаний параметров окружающей среды (атмосферных условий).

Основное оборудование системы кондиционирования для подготовки и перемещения воздуха агрегируется (компонуются в едином корпусе) в аппарат, называемый кондиционером. [1].

Общие сведения о проектируемом объекте:

Здание двухэтажное с чердаком и подвалом. Высота этажа от пола до потолка $h=5$ м.

Характеристика данного помещения:

- зал собраний площадью ($F = 302 \text{ м}^2$) и объемом ($V = 1510 \text{ м}^3$);
- имеются 12 световых проемов (окон): 5 окон выходит на северо-запад, 5 – на юго-восток, 2 – на северо-восток; размеры окон – $H = 1,83 \text{ м}$, $B = 2 \text{ м}$, общей площадью $3,66 \text{ м}^2$ каждое;
- предполагаемое количество людей в помещении – 85 человек;
- помещение с постоянным, периодическим пребыванием людей;
- расчетный расход воздуха – $L_p = 11271 \text{ м}^3/\text{ч}$ или $G_p = 13412 \text{ кг}/\text{ч}$.

Построение всех процессов начинаем с нанесения на $I-d$ -диаграмму точек H и B , характеризующих состояние наружного ($t_H = -24^\circ \text{C}$ и $I_H = -22,7 \text{ кДж}/\text{кг}$) и внутреннего воздуха ($t_B = 19^\circ \text{C}$ и $\varphi_B = 30\%$) для расчетных условий. Параметры точки H – температуру и энтальпию – принимаем по [2]. Параметры точки B – температура и энтальпия – принимаем по [3].

Путем параллельного переноса накладываем процесс изменения состояния воздуха в помещении $\epsilon_x = 10265,9 \text{ кДж}/\text{кг}$ на точку B и определяем на этой линии положение точек, характеризующих состояние приточного и удаляемого воздуха: точку Π (пересечение линии процесса изменения состояния воздуха в помещении и изотермы $t_\Pi = 17^\circ \text{C}$) и точку $У$ (пересечение линии процесса изменения состояния воздуха в помещении и изотермы $t_y = 20,4^\circ \text{C}$).

В холодный период года целесообразно рассмотреть и произвести оценку применения утилизации теплоты уходящего воздуха. При этом 100 % удаляемого из помещения воздуха пропускается через утилизатор теплоты и выбрасывается в атмосферу. Подбор рекуператоров осуществляем в программе WinClim II [6]. Для защиты рекуператоров от обмерзания необходимо использовать термостат защиты при $t < -5^\circ \text{C}$.

При помощи программы WinClim II подбираем высокоэффективный пластинчатый рекуператор (рисунок 1).

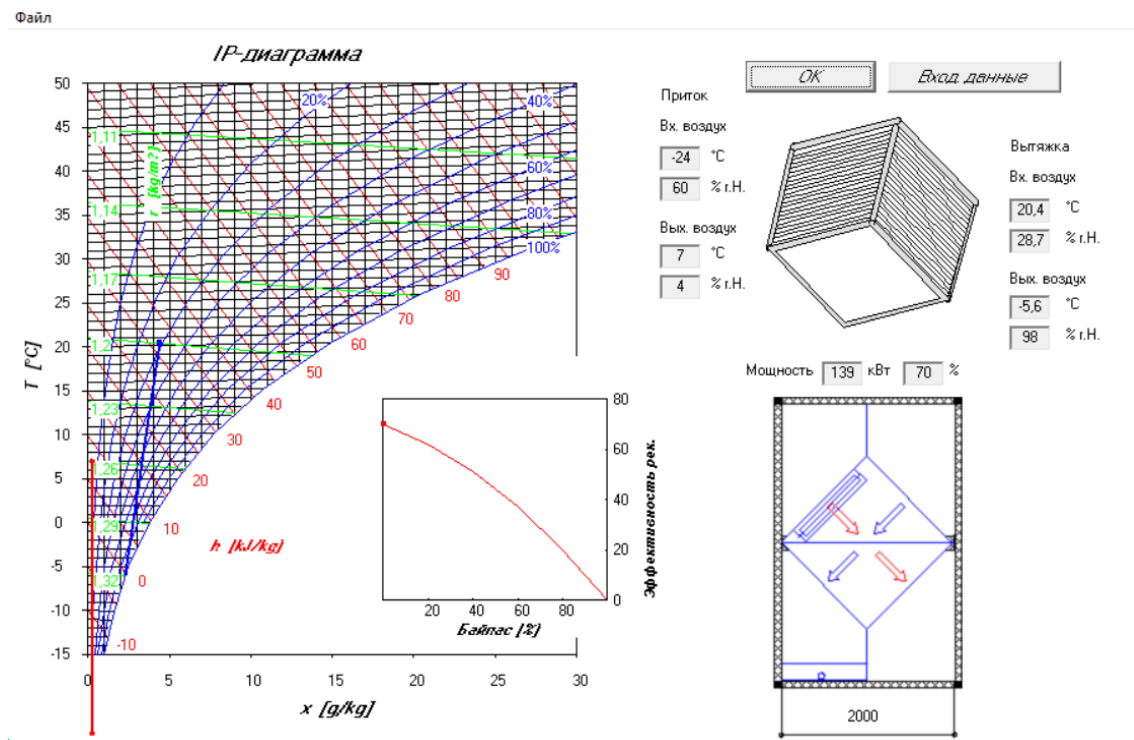


Рисунок 1 – Расчет пластинчатого рекуператора (тип высокоэффективный) в программе WinClim II

1. Процесс обработки воздуха с помощью пластинчатого рекуператора.

Построение процесса на $I-d$ диаграмме отображено на рисунке 2а. Принципиальная схема установки изображена на рисунке 3а.

В пластинчатый рекуператор поступает воздух с параметрами H и параметрами $У$, далее поступает с параметрами P в камеру пароувлажнения, где переходит в состояние O . Далее попадает в камеру нагрева и принимает параметры $П$.

Путь обработки: «наружный воздух» – «рекуперация тепла» – «пароувлажнение» – «нагрев».

Вывод. Для осуществления процесса нам понадобились: пластинчатый рекуператор, камера пароувлажнения, для которой необходимо подать 45,6 кг/ч пара и затратить 4,8 кВт/ч электроэнергии для нагрева воды и 28,6 кВт/ч для нагрева пара, а также камера нагрева с затратами 37,6 кВт/ч электроэнергии.

2. Процесс обработки воздуха с помощью ротационного рекуператора.

Построение процесса на $I-d$ диаграмме отображено на рисунке 2б. Принципиальная схема установки изображена на рисунке 3б.

При помощи программы WinClim подбираем ротационный рекуператор. Из точки H попадаем в P (после рекуператора). Из точки P , подмешивая к наружному рециркуляционный попадаем в точку C . Далее воздух нагреваем и попадаем в точку $П$.

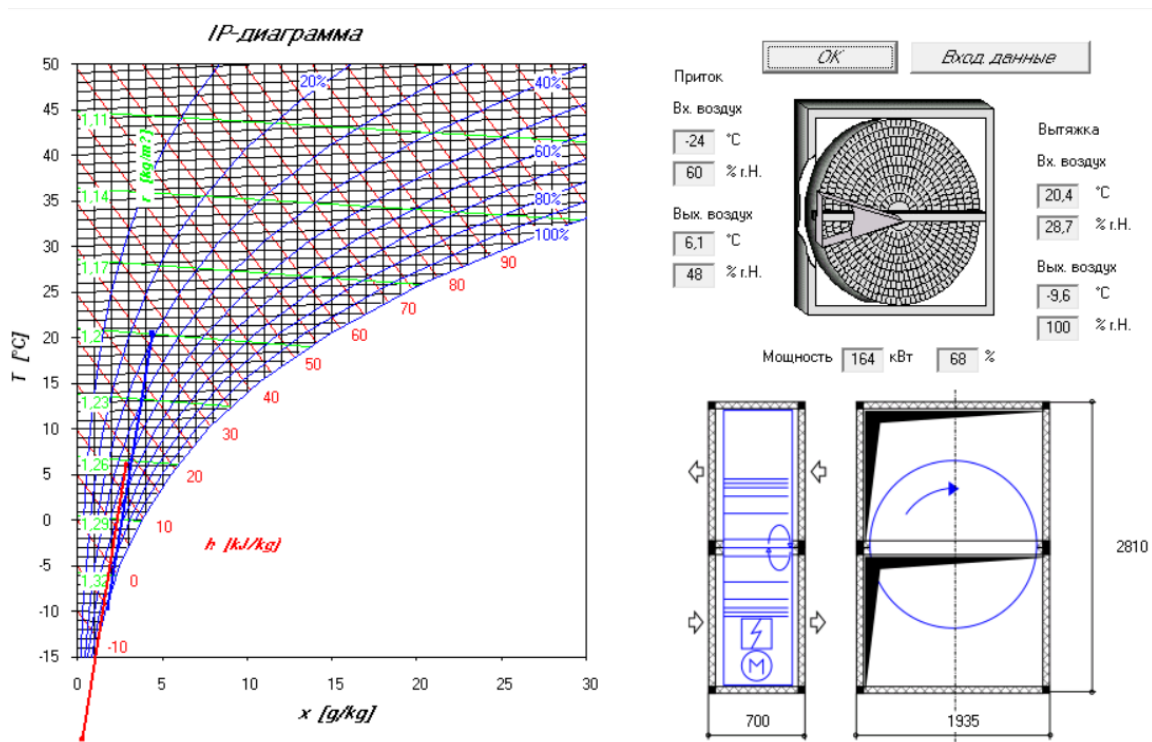
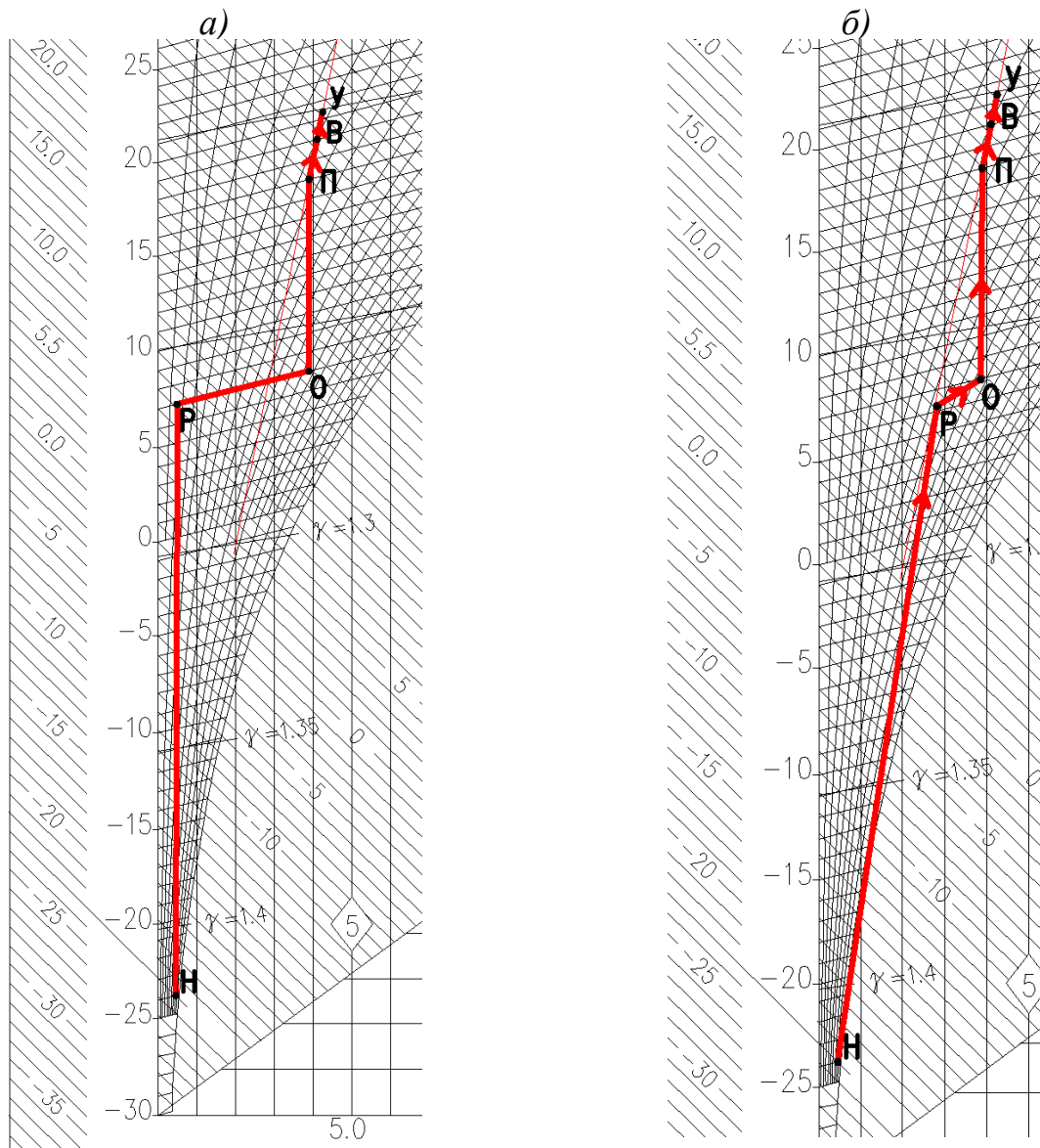


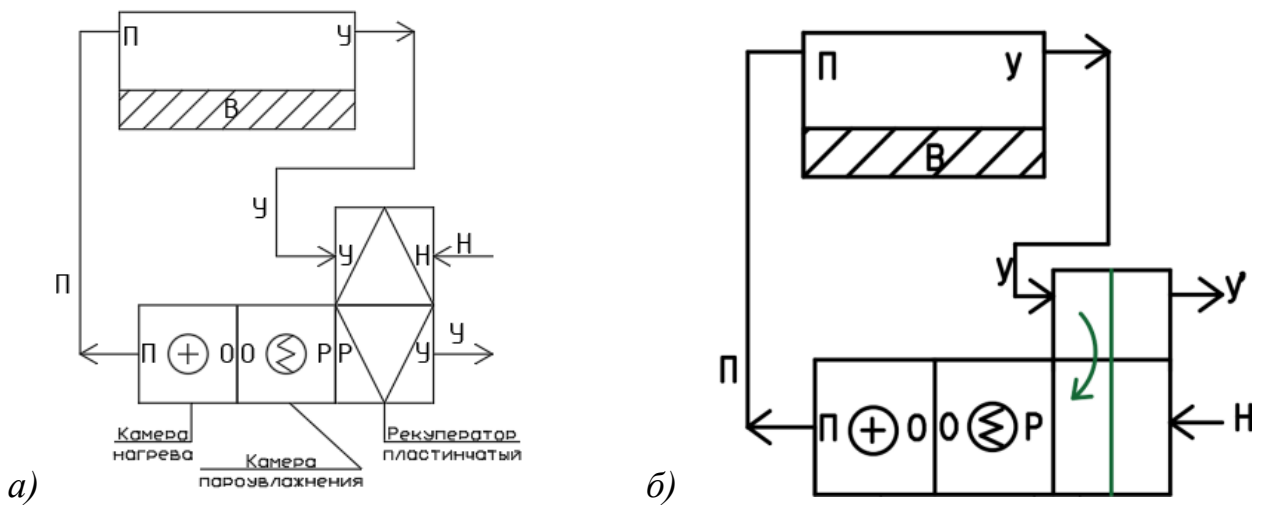
Рисунок 2 – Расчет ротационного рекуператора (тип высокоэффективный) в программе WinClim II

Путь обработки: «наружный воздух» – «рекуперация тепла» – «пароувлажнение» – «нагрев».

Вывод. Для осуществления процесса нам понадобился ротационный рекуператор, камера пароувлажнения, для которой необходимо подать 16 кг/ч пара и затратить 10,4 кВт/ч электроэнергии для нагрева воды и 1,4 кВт/ч для нагрева пара.



а – прямоточный с пластинчатым рекуператором;
 б – процесс обработки воздуха с помощью ротационного рекуператора
Рисунок 3 – Процессы обработки воздуха в холодный период года



а – при прямоточном процессе обработки воздуха с пластинчатым рекуператором;
 б – при процессе обработки воздуха с помощью ротационного рекуператора
Рисунок 3 – Принципиальные схемы установки в холодный период года

Основные данные по процессам с пластинчатым рекуператором в холодный период года заносим в таблицу 1.

Таблица 1 – Характеристика процессов с пластинчатым рекуператором в холодный период года

Процесс обработки воздуха	Наименование требуемых секций кондиционера	Количество подаваемого/забираемого тепла, кДж/ч	Количество воды/пара, кг/ч	Количество смешиваемого рециркуляционного воздуха кг/ч
1. Обработка воздуха с помощью пластинчатого рекуператора	1. Рекуператор пластинчатый, тип высокоэффективный 2. Пароувлажнитель 3. Калорифер	135461кДж/ч 37 кВт	45,6 кг/ч (31,7 кВт)	–
2. Обработка воздуха с помощью ротационного рекуператора	1. Рекуператор ротационный, тип высокоэффективный 2. Пароувлажнитель 3. Калорифер	56330,4кДж/ч 15,6 кВт	16 кг/ч (13,1 кВт)	–

При выборе применяемого процесса для холодного периода следует учесть, что выбирать надо процесс с наименьшими затратами тепла и воды, предпочтительнее применять процессы с рециркуляцией и количество требуемых секций должно быть минимальным. По всем параметрам подходит процесс обработки воздуха с первой рециркуляцией и роторным рекуператором: для его обеспечения нужен роторный рекуператор и пароувлажнитель.

Вывод. Для холодного периода года (ХП) выбираем процесс обработки воздуха с помощью ротационного рекуператора.

Список цитированных источников

1. Дячек, П. И. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение : учебн. пособие / П. И. Дячек. – М. : АСВ, 2017. – 676 с
2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СН 4.02.03-2019. – Введ. 16.12.19 (с отменой СНБ 4.02.01-03). – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 68 с.
3. Параметры микроклимата в помещениях : ГОСТ 30494-2011. – Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (МНТКС), 2012. – 23 с.
4. Янчилин П. Ф. Методические указания для выполнения курсового проекта по дисциплине Кондиционирование воздуха и холодоснабжение, специальности 1-70 04 02. – Ч. 1. – Брест, 2021.
5. Янчилин П. Ф. Методические указания для выполнения курсового проекта по дисциплине Кондиционирование воздуха и холодоснабжение специальности 1-70 04 02. – Ч. 2 – Брест, 2021.
6. Программа для подбора оборудования (рекуператоров) WinClim II.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИИ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД

Кондиционирование воздуха осуществляется комплексом технических средств, называемых системой кондиционирования воздуха. В состав входят технические средства забора воздуха (фильтры, теплообменники, увлажнители или осушители воздуха, вентиляторы), а также средства хладо- и теплоснабжения, автоматики, дистанционного управления и контроля.

Автоматизированная система кондиционирования поддерживает заданное состояние воздуха в помещении независимо от колебаний параметров окружающей среды (атмосферных условий).

Основное оборудование системы кондиционирования для подготовки и перемещения воздуха агрегируется (компонуются в едином корпусе) в аппарат, называемый кондиционером. [1].

Общие сведения о проектируемом объекте:

Здание двухэтажное с чердаком и подвалом. Высота этажа от пола до потолка $h = 5$ м.

Характеристика данного помещения:

- зал собраний площадью ($F = 302 \text{ м}^2$) и объемом ($V = 1510 \text{ м}^3$);
- имеются 12 световых проемов (окон): 5 окон выходят на северо-запад, 5 – на юго-восток, 2 – на северо-восток; размеры окон $H = 1,83$ м, $B = 2$ м, общей площадью $3,66 \text{ м}^2$ каждое;
- предполагаемое количество людей в помещении – 85 человек;
- помещение с постоянным, периодическим пребыванием людей;
- расчетный расход воздуха – $L_p = 11271 \text{ м}^3/\text{ч}$ или $G_p = 13412 \text{ кг}/\text{ч}$.

В данной статье проводим сравнение работы фреонового охладителя с различной компоновкой СКВ в теплый период года.

Построение всех процессов начинаем с нанесения на $I-d$ -диаграмму точек Н и В, характеризующих состояние наружного ($t_n = 25,8^0 \text{ С}$ и $I_n = 50,6 \text{ кДж}/\text{кг}$) и внутреннего воздуха ($t_b = 25^0 \text{ С}$ и $\varphi_b = 60 \%$) для расчетных условий. Параметры точки Н – температура и энтальпия – принимаем по [2]. Параметры точки В – температура и энтальпия – принимаем по [3].

Путем параллельного переноса накладываем процесс изменения состояния воздуха в помещении $\varepsilon_t = 9764,4 \text{ кДж}/\text{кг}$ на точку В и определяем на этой линии положение точек, характеризующих состояние приточного и удаляемого воздуха: точку П (пересечение линии процесса изменения состояния воздуха в помещении и изотермы $t_n = 23^0 \text{ С}$) и точку У (пересечение линии процесса изменения состояния воздуха в помещении и изотермы $t_y = 27,6^0 \text{ С}$).

Принимаем, что нагрев воздуха в вентиляторе составляет примерно 1^0 С при $d = \text{const}$, а путьные изменения его температуры в воздуховодах незначительны. По этой причине точка, характеризующая состояние воздуха на входе

в вентилятор, находится ниже точки Π на один градус по линии $d_{\Pi} = \text{const}$. Параметры воздуха на входе в вентилятор характеризует точка Π' .

1. Процесс обработки воздуха с первой и второй рециркуляцией и фреоновым охладителем.

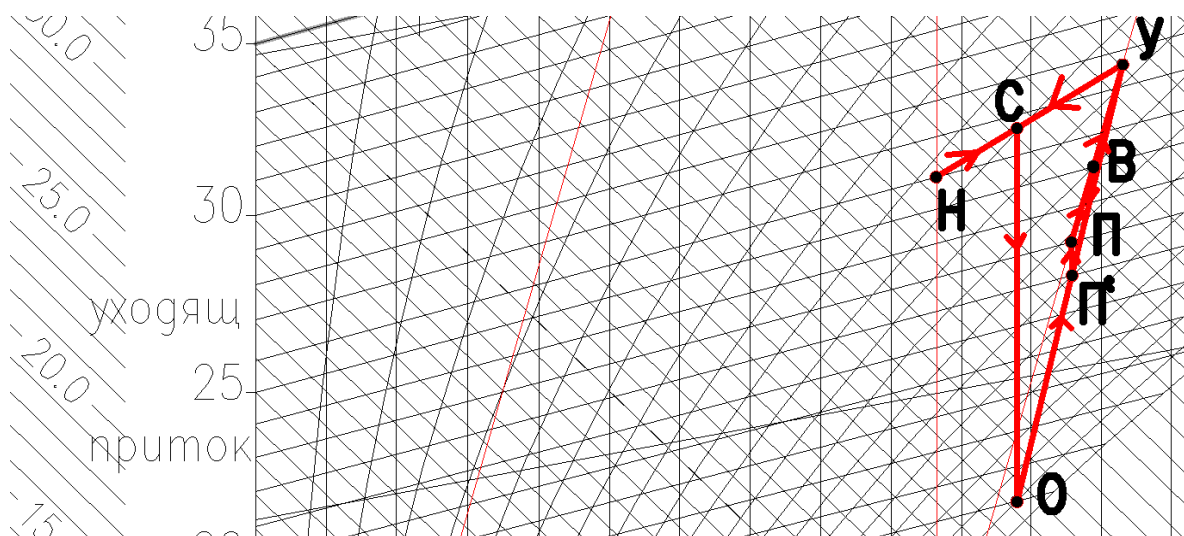


Рисунок 1 – Процесс обработки воздуха с первой и второй рециркуляцией и фреоновым охладителем

Путь обработки: «наружный воздух» – «камера смешения» – «фреоновый охладитель» – «камера смешения».

Вывод. Для осуществления процесса нам понадобится фреоновый охладитель, для которого необходимо затратить 40,9 кВт/ч электроэнергии.

2. Процесс обработки воздуха с первой рециркуляцией и охладителем.

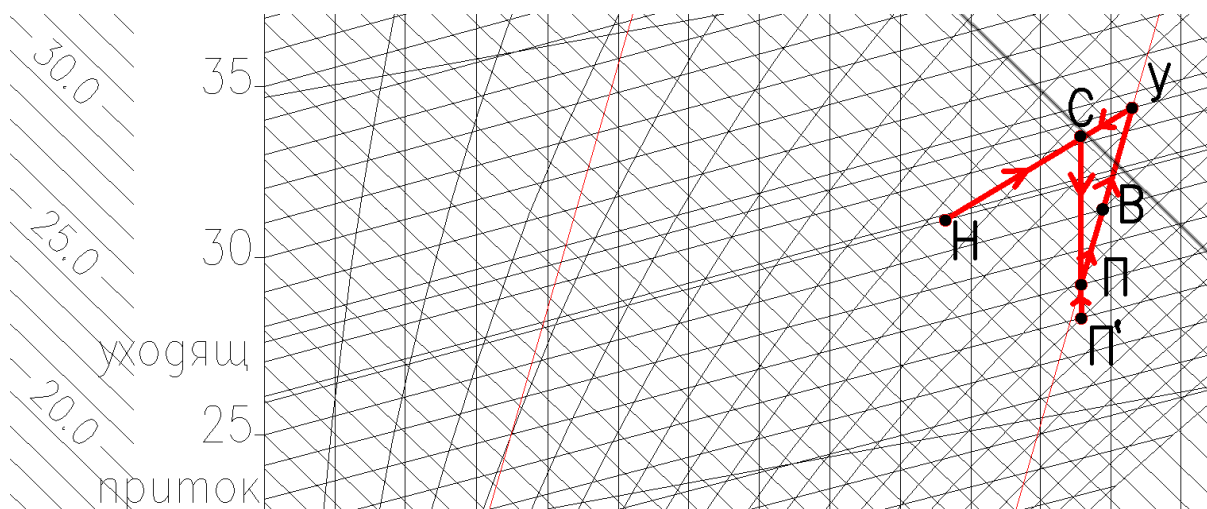


Рисунок 2 – Процесс обработки воздуха с первой рециркуляцией и охладителем

Путь обработки: «наружный воздух» – «камера смешения» – «фреоновый охладитель».

Вывод. Для осуществления процесса нам понадобился фреоновый охладитель, для работы которого необходимо затратить 19,7 кВт/ч электроэнергии.

Принципиальные схемы процессов (рисунок 4).

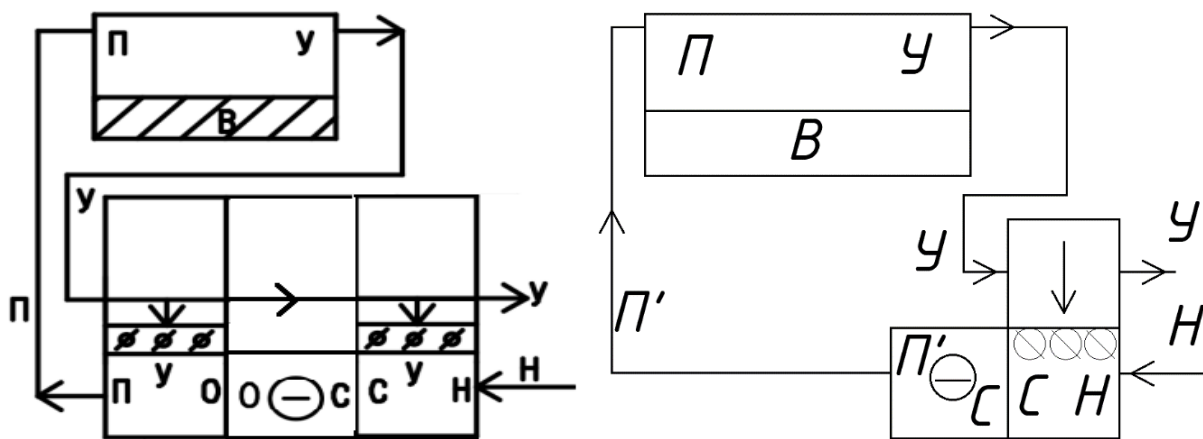


Рисунок 4 – Принципиальные схемы процессов

Основные данные по процессам с фреоновым охладителем в теплый период года заносим в таблицу 1.

Таблица 1 – Характеристика процессов с камерой орошения в теплый период года

Процесс обработки воздуха	Наименование требуемых секций кондиционера	Количество подаваемого/забираемого тепла, кДж/ч	Количество воды/пара, кг/ч	Количество смешиваемого рециркуляционного воздуха кг/ч
1. Процесс обработки воздуха с первой и второй рециркуляцией и фреоновым охладителем	1. Воздухоохладитель	147532 (40,9 кВт)	-	11285,2кг/ч-удаляемого, 9731,4кг/ч-наружного
2. Обработка с 1-й рециркуляцией и фреоновым охладителем	1. Воздухоохладитель	71083,3 (19,7 кВт)	-	3629,3 кг/ч-удаляемого, 9782,7 кг/ч-наружного

При выборе применяемого процесса для теплого периода следует учесть, что выбирать надо процесс с наименьшими затратами тепла, предпочтительнее применять процесс обработки воздуха с рециркуляцией и количество требуемых секций должно быть минимальным. По всем параметрам подходит процесс обработки воздуха с первой рециркуляцией и фреоновым охладителем.

Вывод. Для теплого периода года (ТП) выбираем процесс с первой рециркуляцией и фреоновым охладителем.

Список цитированных источников

1. Дячек П. И. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение : учебн. пособие / Дячек П. И. – М. : АСВ, 2017. – 676 с

2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03-2019. – Введ. 16.12.19 (с отменой СНБ 4.02.01-03). – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 68 с.

3. Параметры микроклимата в помещениях : ГОСТ 30494-2011. – Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (МНТКС), 2012. – 23 с.

4. Янчилин П. Ф. Методические указания для выполнения курсового проекта по дисциплине Кондиционирование воздуха и холодоснабжение специальности 1-70 04 02. – Ч. 1. – Брест, 2021.

5. Янчилин П. Ф. Методические указания для выполнения курсового проекта по дисциплине Кондиционирование воздуха и холодоснабжение специальности 1-70 04 02. – Ч. 2. – Брест, 2021.

УДК 697.95

Слюк Я. А., Кривецкий Н. С.

Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.

СХЕМА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫТЕСНЕНИЕМ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ ВОЗДУХА В ТЕПЛЫЙ И ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОДЫ В ПОМЕЩЕНИИ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛА

При проектировании системы кондиционирования конференц-зала в городе Барановичи были приняты следующие параметры наружного воздуха (таблица 1) [1]:

Таблица 1 – Расчетные параметры наружного воздуха

Периоды года	Температура наружного воздуха t_n , °С;	Энтальпия наружного воздуха I_n , кДж/кг	Скорость ветра V , м/с
Теплый	26,5	51,2	3,0
Холодный	-22,0	-21,0	4,2

С целью уменьшения затрат на тепло- и холодоснабжение СКВ расчетную температуру и относительную влажность воздуха в помещении следует принимать для теплого периода года максимальные, для холодного – минимальные из диапазона оптимальных значений:

- в теплый период года: относительная влажность 30–60 %; температура в рабочей зоне рекомендуется от 22° С до 25° С; подвижность воздуха в рабочей зоне – не более 0,3 м/с.

- в холодный период года: относительная влажность 45–30 %; температура в рабочей зоне рекомендуется от 20° С до 22° С; подвижность воздуха в рабочей зоне – не более 0,2 м/с.

Температуру и относительную влажность для помещений 2 категории (помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебной) для двух периодов принимаем по таблице 1 Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий [2].

С целью уменьшения затрат на тепло- и холодоснабжение СКВ расчетную температуру и относительную влажность воздуха в помещении следует принимать для теплого периода года максимальные, для холодного – минимальные из диапазона оптимальных значений.

При подаче приточного воздуха с помощью схемы вытеснения, принимаем температуру подачи в теплый период $t_{пр} = 23^{\circ} \text{C}$, в холодный – $t_{пр} = 18^{\circ} \text{C}$.

Согласно расчету по определению воздухообмена для асимилиации вредностей, расчетная величина воздухообмена в конференц-зале G_p , кг/ч, т. е. расход воздуха для подбора оборудования составил 18086,95 кг/ч или $L = 15073 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Подбор приточных воздухораспределительных устройств произвели в программе «ProAirWeb» Swegon [3] по результатам которого в расчетном помещении установили 8 приточных распределителей DBCa 400-3V, а для вытяжки по каталогам фирмы «АРКТОС» подобрана модель вытяжных диффузоров 4АПР-С-600х600+3КСДМ в количестве 12 единиц.

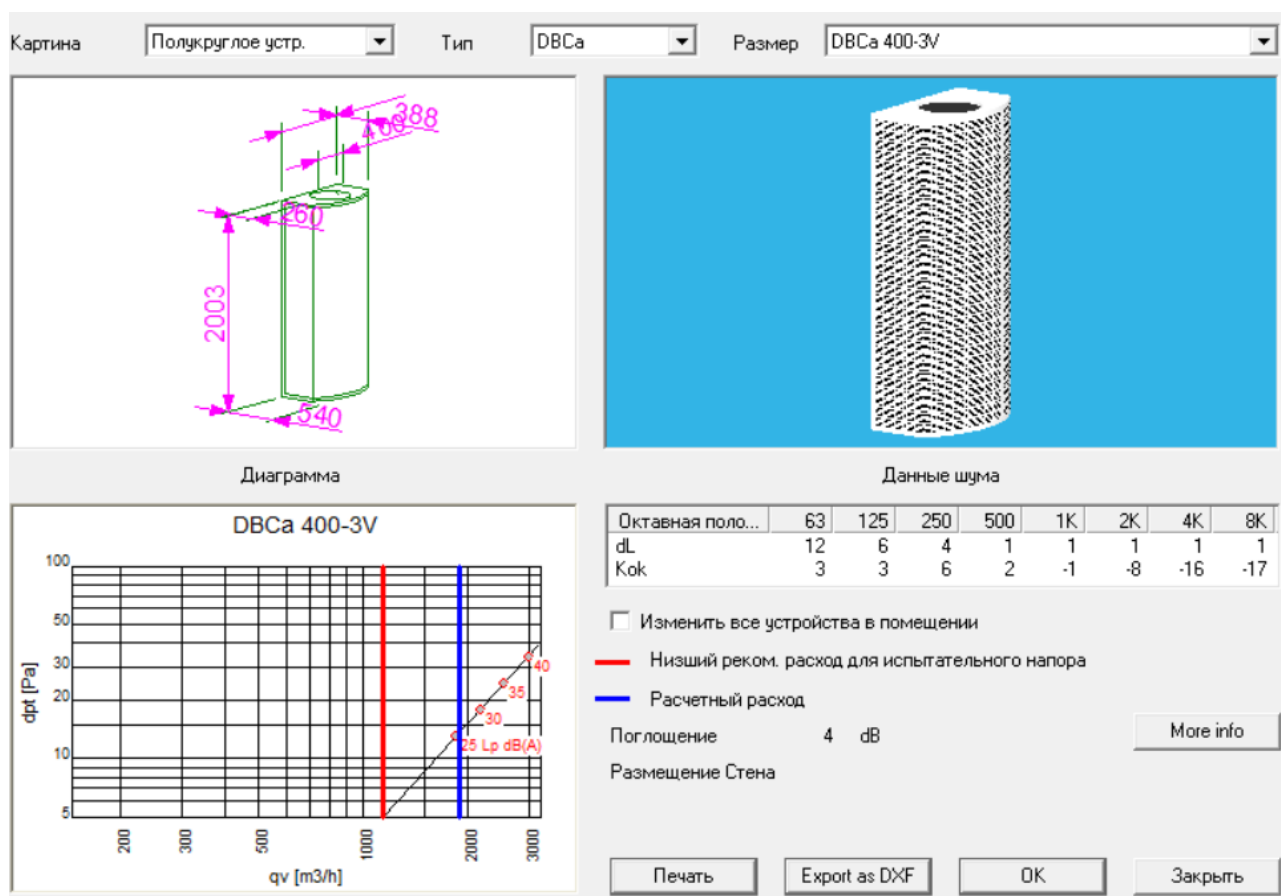


Рисунок 1 – Свойства подобранных приточных воздухораспределителей DBCa 400-3V

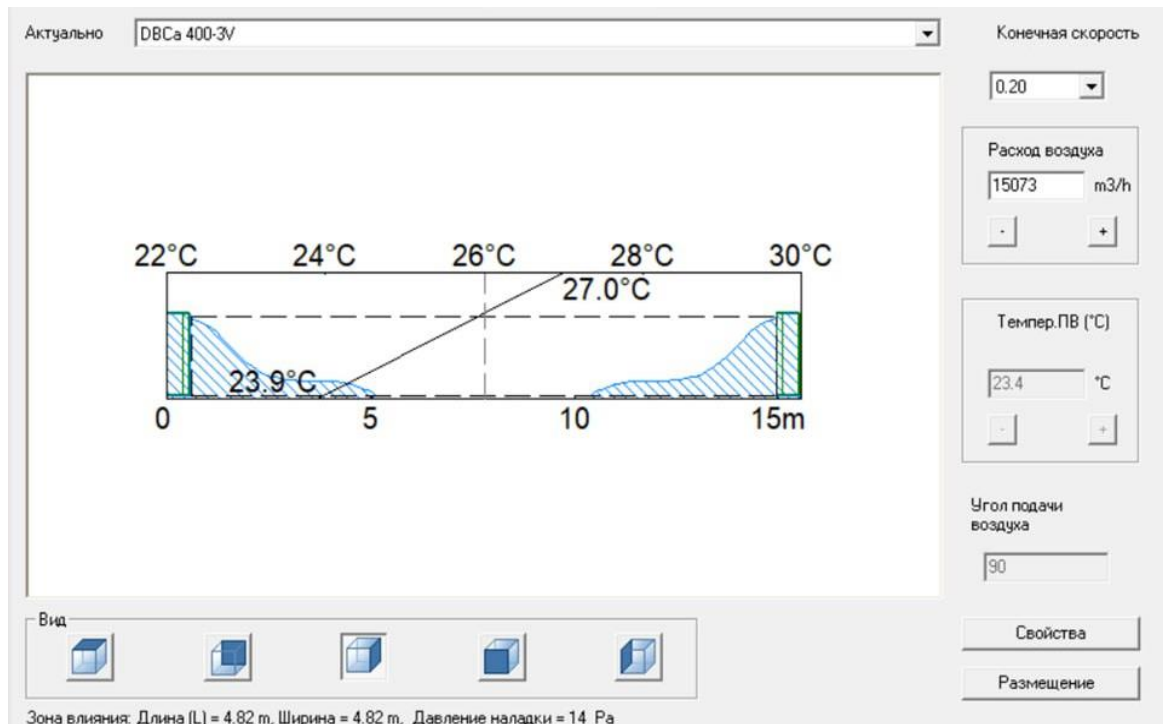


Рисунок 2 – Изовела распределения воздуха по помещению воздушораспределителями DBCa 400-3V

В системах **вытесняющей** вентиляции приточный воздух подается с уровня пола непосредственно в обслуживаемую зону помещения, при этом его температура должна быть ниже температуры воздуха в помещении ($\Delta T = 1-2^\circ \text{C}$). Если приточный воздух холоднее воздуха помещения более чем на 3°C , то его следует смешивать с воздухом помещения, чтобы избежать неприятных ощущений для людей от холодных воздушных потоков на уровне пола. Удаление нагретого загрязненного воздуха, вытесняемого в верхнюю зону в конвективных потоках над тепловыми источниками, происходит на уровне потолка помещения [4].

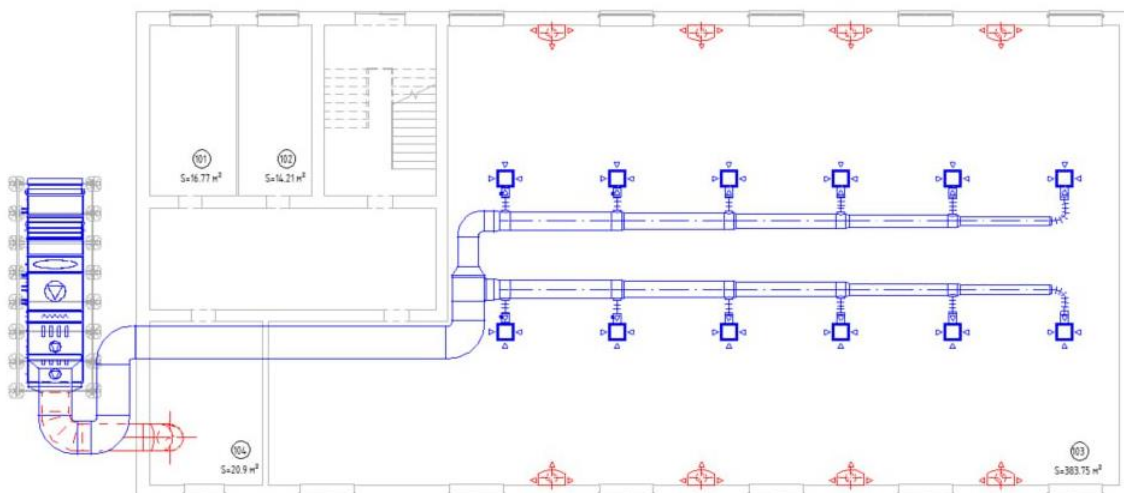


Рисунок 3 – План с нанесение элементов системы кондиционирования при схеме вытеснением

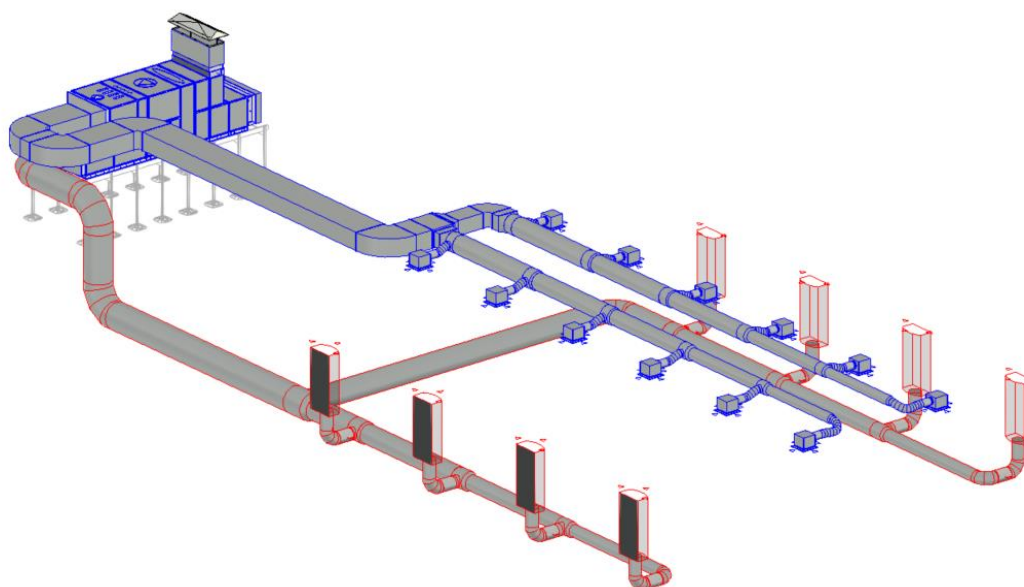


Рисунок 4 – Схема воздухораспределения вытеснением в помещении конференц зала

Список цитированных источников

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03-2019. – Введ. 16.12.19 (с отменой СНБ 4.02.01-03). – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 68 с.
2. Естественное и искусственное освещение : СН 2.04.03–2020. – Введ. 24.03.2021 (с отменой ТКП 45-2.04-153-2009 (02250)). – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2021. – 69 с.
3. Программа для подбора вентиляционных установок WinClim II компании «Wesper» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e.informer.com/s/wesper.co.uk/espacer-pro.aspx/>. – Дата доступа:
4. Янчилин, П. Ф. Методические указания для выполнения курсового проектирования Кондиционирование воздуха и холодоснабжение специальности 1-70 04 02. – Ч. 1 – Брест : БрГТУ, 2020. – 45 с.

УДК 528.94

Усс Н. В.

Научный руководитель: д. г. н., профессор Волчек А. А.

ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА РЕК И ВОДОЕМОВ БЕЛАРУСИ НА БАЗЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Проблема водных ресурсов в настоящее время очень актуальна. В связи с тем, что на территории нашей страны расположено более 20 000 рек и более 10 000 озер встает вопрос о создании единой информационной пространственной системы водных объектов. Эта система может быть представлена в виде интерактивной геоинформационной карты, которая, в отличие от бумажных карт, содержит большой объем информации об объекте и позволяет оперативно вносить изменения в соответствии с меняющимися обстоятельствами. Анализ существующих интерактивных карт показал, что в настоящее время нет отечественной карты, которая бы полностью раскрывала информацию о водных

ресурсах Беларуси. В связи с этим, целью нашей работы является разработка интерактивной карты рек и водоемов Беларуси и ее актуальное наполнение.

В основе создания информационных интерактивных карт могут лежать различные технологии. К ним относятся технологии дистанционного зондирования, технологии обработки изображений и технологии векторных и растровых данных. Однако одной из наиболее распространенных технологий является использование геоинформационных систем (ГИС).

Основная идея ГИС заключается в объединении данных на карте и в обычной базе данных, обеспечивая однозначное соответствие каждого векторного элемента на электронной карте с записью в таблице базы данных. Система позволяет вводить, хранить, обрабатывать (пространственно анализировать), обновлять, получать доступ, отображать и распространять пространственные данные с использованием цифровых карт. Геоинформационные системы сочетают в себе функции систем управления базами данных, редакторов растровой и векторной графики, а также инструментов анализа [1].

Сегодня ГИС дает возможность создавать собственные слои данных на интерактивных картах, чтобы помочь решить реальные проблемы. Благодаря переходу на сетевые и облачные вычисления, интеграции с информацией в режиме реального времени через Интернет ГИС стала платформой, подходящей почти для любой области человеческой деятельности. Такие программные комплексы применимы и для создания интерактивной карты рек и водоемов Беларуси [2].

Функциональные возможности программного обеспечения для создания данной карты должны включать:

1. Возможность визуализации большого количества географических объектов (рек, озер, водохранилищ и т. д.).

2. Наличие инструментов для редактирования и настройки отображения географических объектов (например, построение полигонов, изменение масштаба, добавление подписей и описаний).

3. Поддержка различных форматов данных (например, CSV и другие).

4. Интеграция с популярными картографическими сервисами (например, OpenStreetMap).

5. Возможность создания интерактивных элементов (например, всплывающих окон с информацией о реках и водоемах).

6. Поддержка различных языков программирования и возможность интеграции с другими программными продуктами.

7. Возможность создания тематических слоев, таких как гидрология, экология, туризм.

8. Поддержка различных типов данных, включая векторные, растровые и табличные данные.

9. Интеграция с геоинформационными системами (ГИС) и базами данных для обеспечения целостности и актуальности информации.

10. Возможность экспорта карты в различные форматы (PNG, JPEG, SVG, PDF) для публикации на веб-сайте или использования в других проектах.

11. Наличие инструментов для создания и редактирования атрибутивной информации о географических объектах, такой как названия, описания, координаты и другая информация.

12. Возможность настройки параметров отображения карты, таких как прозрачность и другие визуальные эффекты.

13. Работа с линейными и полигональными геообъектами.

14. Применение оверлейных операций – наложение двух или более слоев карт друг на друга для сравнения, анализа или комбинирования данных. Это позволяет работать с различными слоями картографической информации одновременно, что может быть полезно для различных географических исследований.

15. Возможность настроить общий доступ для других пользователей, а также возможность поделиться ссылкой на созданную карту.

16. Возможность оперативно редактировать карту в связи с изменяющейся обстановкой.

В результате анализа необходимых для создания геоинформационной интерактивной карты рек и водоемов Беларуси функций программного обеспечения, было выявлено, что наиболее подходящей для выполнения поставленной задачи по своим характеристикам и функциональным возможностям является геоинформационная система ArcGIS.

ArcGIS Online – это облачное программное обеспечение для веб-картографии и геопространственного анализа, которое предоставляется как сервис SaaS. Данный онлайн-сервис является полноценной облачной геоинформационной системой, в которой можно хранить и публиковать свои пространственные данные, карты, приложения и сервисы, а также обмениваться и управлять ими. Более того, ArcGIS Online уже содержит готовые базовые карты, данные и пакеты сервисов, а также полезные инструменты, которые могут сразу использоваться в работе. Преимуществом работы в ArcGIS Online является возможность доступа к защищенному облаку Esri, где можно создавать, хранить и работать с опубликованными веб-слоями. Это упрощает совместную работу и обмен данными между пользователями, а также обеспечивает безопасность геопространственных ресурсов. В ArcGIS Online есть возможность настроить общий доступ для других пользователей, а также возможность поделиться ссылкой на созданную карту.

База данных является основой для создания интерактивной геоинформационной карты рек и водоемов Беларуси. На сегодняшний день, разработанная собственная база данных на основе программы Microsoft Excel, включает 2 247 объектов. Для каждого вида водных объектов создается отдельный файл, где задаются только присущие им характеристики и параметры. Для импорта базы данных в ArcGIS файл Microsoft Excel необходимо сохранить с расширением *.csv. На интерактивной карте представлена географическая (элементы графического оформления) и атрибутивная информация об объекте (рисунок 1). Например, озеро на дисплее может быть представлено в виде графической составляющей (полигона), а в атрибутивной базе данных будет содержаться название, информация о районе, площади зеркала, наибольшей глубине, средней глубине, береговой линии и т. д. Работа по сбору и анализу информации по рекам и водоемам страны для расширения и дополнения базы водных объектов продолжается.

Географическая информация

Атрибутивная информация

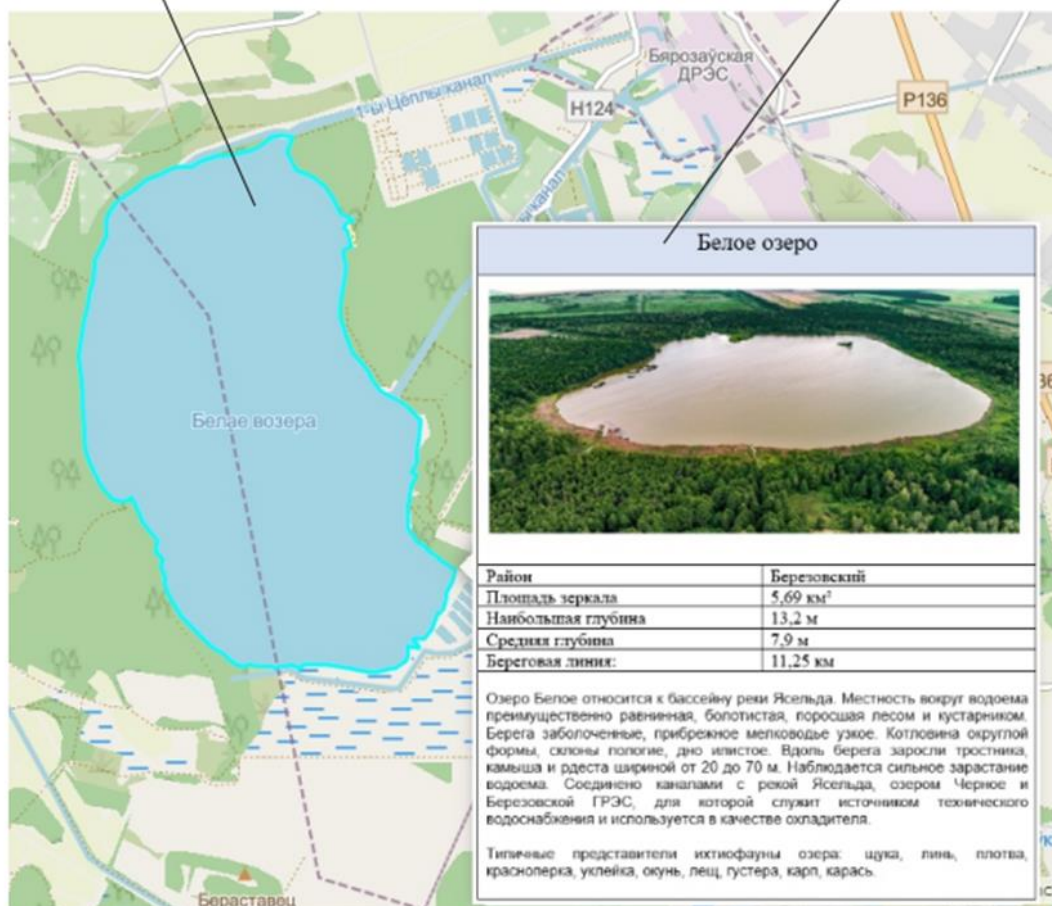


Рисунок 1 – Отображение географической и атрибутивной информации на интерактивной карте рек и водоемов Беларуси

Таким образом, с помощью облачной геоинформационной системы ArcGIS Online была разработана интерактивная карта рек и водоемов Беларуси на основе собственных данных. На карте показано географическое расположение водных объектов, их основные характеристики и точное описание (рисунок 2).

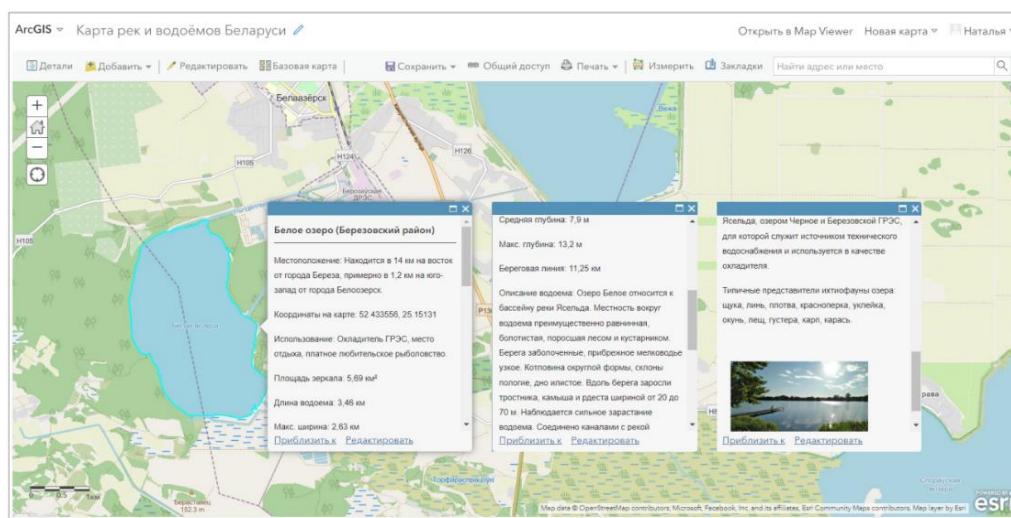


Рисунок 2 – Пример описания объекта на разработанной интерактивной карте в ArcGIS Online

Визуализация объекта осуществляется посредством прикрепления к описанию фотоснимков, 3D-панорам и видеоматериалов. С целью хранения и упорядочивания фото- и видеоматериалов о водных объектах, упрощения доступа к ним и защиты была создана закрытая группа «Водные объекты Беларуси» в социальной сети VK (рисунок 3).

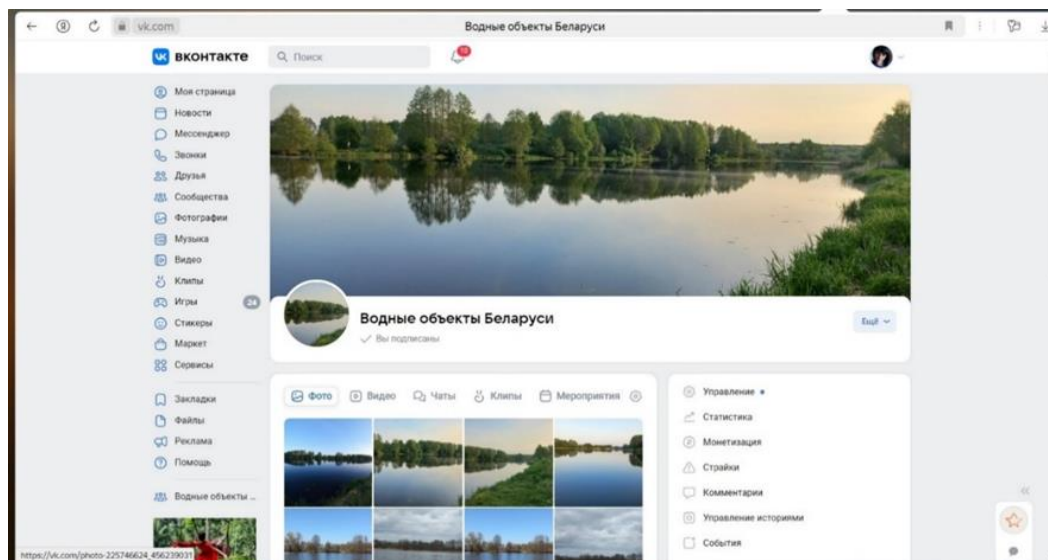


Рисунок 3 – Страница сообщества «Водные объекты Беларуси» в социальной сети VK

Список цитированных источников

1. Гис, что это такое? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/10028763/#7>. – Дата доступа: 05.06.2024.
2. Калугин, Д. Н. Геоинформационные системы в картографо-геодезическом производстве : дис. ... маг. техн. наук : 1-51-80-01 / Д. Н. Калугин. – Новополоцк, 2020. – 106 л.

УДК 004.94

Шарко В. Г., Курант В. А.

**Научные руководители: ст. преподаватель Мищирук О. М.;
ст. преподаватель Матюх С. А.**

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ СОЗДАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ В КОМПАС-3D

В современном машиностроении зубчатые передачи – одни из наиболее распространенных типов механизмов. Они используются в подавляющем большинстве машин различного назначения.

Система автоматизированного проектирования КОМПАС-3D предназначена для создания чертежно-конструкторской документации и трехмерных моделей деталей и сборочных узлов. Для сокращения трудоемкости процесса проектирования чертежно-конструкторской документации и 3D-моделей сборочных узлов в данной системе было создано большое количество прикладных библиотек различного назначения.

Использование прикладной библиотеки системы КОМПАС-3D позволяет сократить время проектирования рабочих чертежей деталей машин, а также элементов механических передач как минимум в два и более раз.

При выборе зубчатых передач для конкретных задач необходимо учитывать их характеристики и специфику, так как от этого будет зависеть плавность хода, скорость вращательного момента, плавность работы системы и другие эксплуатационные особенности. Зубчатая передача – это конструкционный механизм, предназначенный для передачи вращательного движения от вала к валу. Зубчатые передачи используются как самостоятельные агрегаты (редукторы) или входят в другие машины как составные сборочные единицы [2].

В ходе научно-исследовательской работы студентов были рассмотрены построения вала-шестерни тремя способами: валы и механические передачи 2D, валы и механические передачи 3D, 3D-моделирование.

Система «Валы и механические передачи 2D» может работать с «КОМПАС-3D», генерируя трехмерные твердотельные модели на основе параметрической модели, созданной в системе «Валы и механические передачи 2D». Создадим параметрическую модель вала-шестерни в системе «Валы и механические передачи 2D». Для этого зайдём в менеджер библиотек, выберем раздел «Механика»/ «Валы и механические передачи 2D».

Для построения цилиндрических ступеней вала выбираем соответствующие кнопки вызова команд инструментальной панели окна системы.

При нажатии команды «Цилиндрическая шестерня с внешними зубьями» появляется одноименное диалоговое окно, в котором можно запустить расчет зубчатого венца с требуемыми параметрами: числом зубьев, модулем, углом наклона на делительном цилиндре, углом профиля зуба исходного контура, шириной зубчатого венца, межосевым расстоянием и т. д. (рисунок 1).

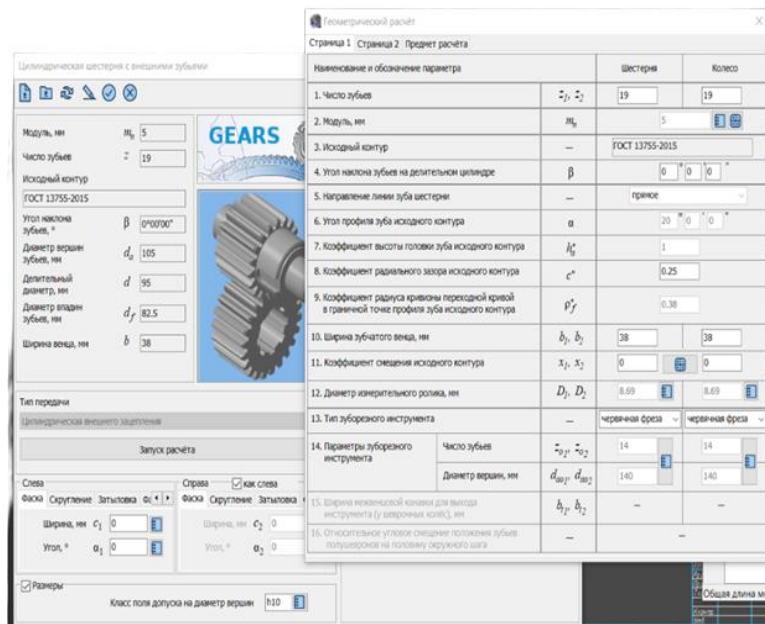


Рисунок 1 – Промежуточный этап построения вала-шестерни при помощи приложения «Валы и механические передачи 2D»

После завершения построения и параметризации всех ступеней модели вала-шестерни, выбираем вкладку «Дополнительные построения и действия / Генерация твердотельной модели» и получаем готовую модель «Вала-шестерни». После чего трехмерная твердотельная модель автоматически генерируется в среде «КОМПАС-3D» на основе созданной параметрической модели (рисунок 2).

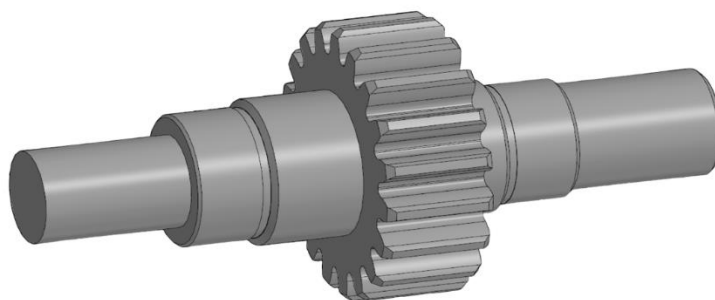


Рисунок 2 – Промежуточный этап построения вала-шестерни при помощи приложения «Валы и механические передачи 2D»

Построение вала-шестерни через приложение «Валы и механические передачи 3D» начинаем с построения внешних цилиндрических ступеней (указываем диаметр и длину каждого участка).

При построении цилиндрической ступени, шестерни с внешними зубьями выбираем команду «Шестерня цилиндрическая с внешними зубьями», и в дереве построения указываем параметры шестерни. После построения шестерни, достраиваем оставшиеся цилиндрические ступени – построение аналогично первым трем цилиндрическим ступеням (рисунок 3).

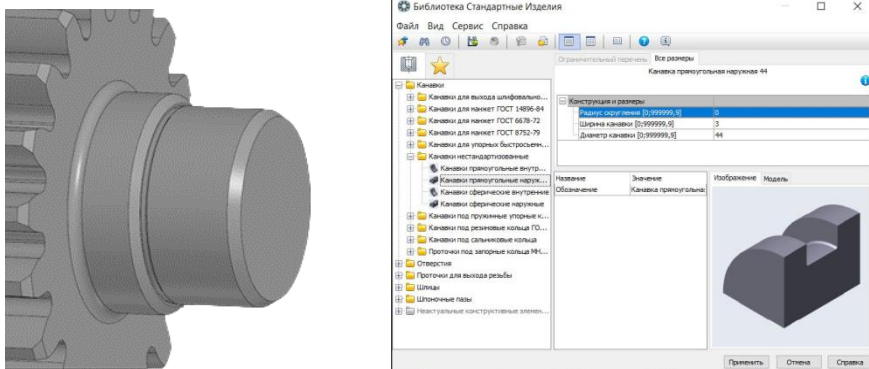


Рисунок 3 – Построение канавки на валу при помощи приложения «Валы и механические передачи 3D»

3D-моделирование вала-шестерни выполняем командами «Элемент выдавливания» или «Элемент вращения» панели инструментов «Элементы тела». На ступени вала создаем эскиз профиля зуба и, используя вкладку «Элемент выдавливания / Элемент вращения», выдавливаем зуб вокруг нужной нам оси на 360 градусов (число зубьев – 19). К сожалению, данный метод является некорректным (рисунок 4). Оставшиеся ступени вала и конструктивные элементы создаем аналогично первым трем ступеням.

При выполнении построения 3D-модели вала-шестерни каждый из способов занимал несколько шагов: «Валы и механические передачи 3D» – 7 шагов, «Валы и механические передачи 2D» – 8 шагов. А метод 3D-моделирования в связи с некорректностью профиля зуба не является конкурентноспособным двум предыдущим методам и не может быть применен на производстве.

Система автоматизированного проектирования КОМПАС-3D предназначена для создания чертежно-конструкторской документации и трехмерных моделей деталей и сборочных узлов. Для сокращения трудоемкости процесса проектирования чертежно-конструкторской документации и 3D-моделей сборочных

узлов в данной системе было создано большое количество прикладных библиотек различного назначения.

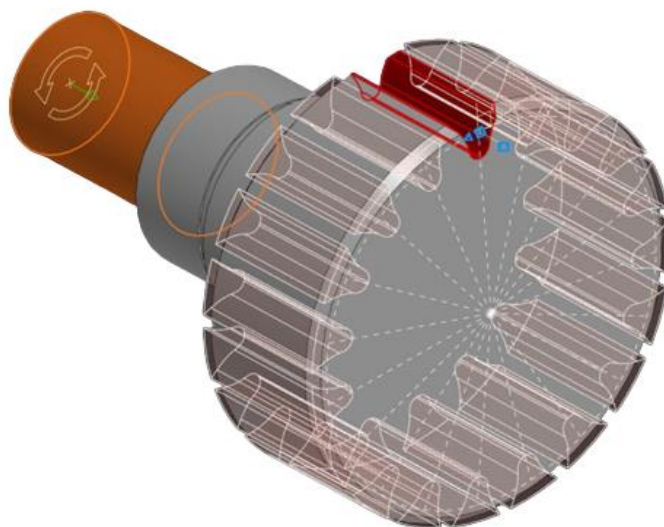


Рисунок 4 – Выполнение профиля зуба при 3D-моделировании вала-шестерни

Библиотека «Валы и механические передачи 2D» предназначена для проектирования и автоматизированной прорисовки рабочих чертежей деталей машин типа «вал» или «втулка», а также элементов механических передач. В данной библиотеке на простых элементах валов или втулок могут быть смоделированы резьбовые, шлицевые и шпоночные соединения, а также другие конструктивные элементы – канавки, проточки, пазы, лыски и т. д.

Сложность модели и количество ступеней вала не ограничиваются. Библиотека «Валы и механические передачи 2D» также включает в себя дополнительный модуль расчета механических передач «КОМПАС GEARS», который позволяет выполнять геометрические и прочностные расчеты любых механических передач с последующим автоматизированным построением в КОМПАС-3D рабочих чертежей.

Применение графического редактора КОМПАС-3D при изучении графических работ зубчатые передачи имеет ряд преимуществ, т. к. дает возможность получить полное представление о форме, размерах, различных геометрических объемах. Важным моментом является широкое внедрение КОМПАС-3D в учебный процесс, что позволяет минимизировать временные затраты на адаптацию будущих специалистов в условиях реального производства. Использование прикладной библиотеки системы КОМПАС-3D позволяет сократить время проектирования рабочих чертежей деталей машин, а также элементов механических передач как минимум в два и более раз. Визуализация проектируемых деталей должна быть направлена на заинтересованность студентов к обучению, получению новых знаний и применению их на практике.

Список цитированных источников

1. Платонов, Л. Валы и механические передачи 3D – отлаженный механизм развития машиностроительного проектирования в КОМПАС-3D / Л. Платонов // Стремление. – 2016. – № 1. – С. 52–59.

2. Талипова, И. П. Расчет и проектирование передач с использованием систем автоматизированного проектирования : учеб. пособие / И. П. Талипова, Р. Н.Тазмеева. И. Д. Галимянов. – Набережные Челны : НЧИ КФУ, 2017. – 104 с.

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ПРОБЛЕМАТИКА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫСЕВА СЕМЯН

Современное сельское хозяйство сталкивается с вызовами, требующими инновационных подходов для увеличения эффективности и устойчивости производства. Актуальность автоматизации технологии высева зерновых культур становится неотъемлемой частью стратегии улучшения сельскохозяйственного процесса. Автоматизация не только повышает производительность, но также содействует оптимизации использования ресурсов, снижению затрат и улучшению качества сельскохозяйственных продуктов. В данном контексте исследование и внедрение современных технологий в области высева зерновых культур становится ключевым элементом достижения устойчивого развития сельского хозяйства в Республике Беларусь.

Одним из важных аспектов, выделяющих актуальность автоматизации в сельском хозяйстве, является возможность оптимизации использования ресурсов. Системы с программным управлением способны точно дозировать семена и управлять процессом высева, что снижает избыточное использование материалов и улучшает эффективность всего производственного цикла, что приводит к существенному снижению затрат на производство. Это особенно важно в условиях постоянного роста цен на энергоресурсы и материалы.

Таким образом, совершенствование технологии высева зерновых культур играет ключевую роль в современном сельском хозяйстве, предоставляя эффективные решения проблем, стоящих перед сельскохозяйственным сектором. Исследование и внедрение современных автоматизированных систем являются неотъемлемой частью стратегии сельскохозяйственного развития, способствуя созданию более устойчивой и продуктивной сельскохозяйственной среды.

Автоматизация – это процесс внедрения и использования различных технологий, систем и устройств для выполнения задач без или с минимальным вмешательством человека. Основная цель автоматизации – увеличение эффективности, сокращение времени выполнения задач, снижение ошибок и повышение общей производительности. Такой процесс может включать в себя использование программного обеспечения, роботов, машин, датчиков, систем искусственного интеллекта и других технологий для выполнения различных операций. Наличие современных автоматизированных систем в сельском хозяйстве поможет эффективнее расходовать зерно, фиксировать неисправности оборудования, получать параметры для более точной настройки процесса высева.

Автоматизация представляет собой комплексный подход к внедрению средств и систем с целью замещения или оптимизации выполнения различных операций с использованием автоматических устройств, программных средств и сенсоров. Однако целью автоматизации является не только повышение эффективности и точности выполнения задач, но также и повышение надежности и безопасности процессов, а также возможность более гибкого реагирования на изменения в окружающей среде. В рамках автоматизации высева осуществляется внедрение различных технических решений, таких как программируемые

логические контроллеры, системы сбора и обработки данных, системы управления и другие. Эти средства позволяют автоматизировать выполнение рутинных, монотонных или опасных операций, а также собирать и анализировать данные для принятия обоснованных управленческих решений.

Важным элементом автоматизации технологических процессов является интеграция различных компонентов в единую систему мониторинга и управления, что обеспечивает взаимодействие между разными этапами высева и позволяет не только повысить производительность, но и способствует улучшению качества продукции, уменьшению времени производства и ресурсозатрат, а также улучшению условий труда.

Большая часть сельскохозяйственной техники сегодня не автоматизирована, и качество и эффективность работы зависит от оператора. Опытные операторы знают, как правильно откалибровать агрегат и настроить норму высева, но даже они допускают ошибки из-за невозможности за всем уследить. Оператор должен изменять норму высева в зависимости от плотности почвы, скорости трактора, должен отключать высев при разворотах, соблюдать маршрут и при этом следить за работой агрегата. Пример современного рабочего места оператора сеялки представлен на рисунке 1. Исходя из рисунка, видно, что необходимо отслеживать информацию с трех отдельных мониторов, следить за работой трех различных автоматизированных систем. Наиболее оптимальным представляется случай, когда одна система гармонично интегрирует в себе функциональные возможности трёх модулей, обеспечивая повышенную эффективность работы.



Рисунок 1 – Рабочее место оператора сеялки

Единый модуль, осуществляющий не только мониторинг, но и управление работой сеялки, позволит оператору сконцентрироваться на вождении, а все остальное будет делать сама система. Таким образом, разработка единой системы для зерновой сеялки, решающей вышеописанные задачи, является актуальной задачей.

На белорусском рынке нет аналогов системы управления высевом. Проведём сравнительный анализ подобных систем зарубежных производителей.

Аналогом автоматизированной системы управления высевом является система USC Pro от немецкой компании Muller Electronics. Система USC Pro предоставляет возможность управления процессом высева при помощи терминала. Процесс высева не зависит напрямую от скорости движения трактора и имеет высокую точность, что позволяет экономно использовать крупу. Высев происходит при помощи вращающегося серводвигателя, управление которым осуществляется из кабины трактора. Схема конфигурации системы USC Pro представлена на рисунке 2.

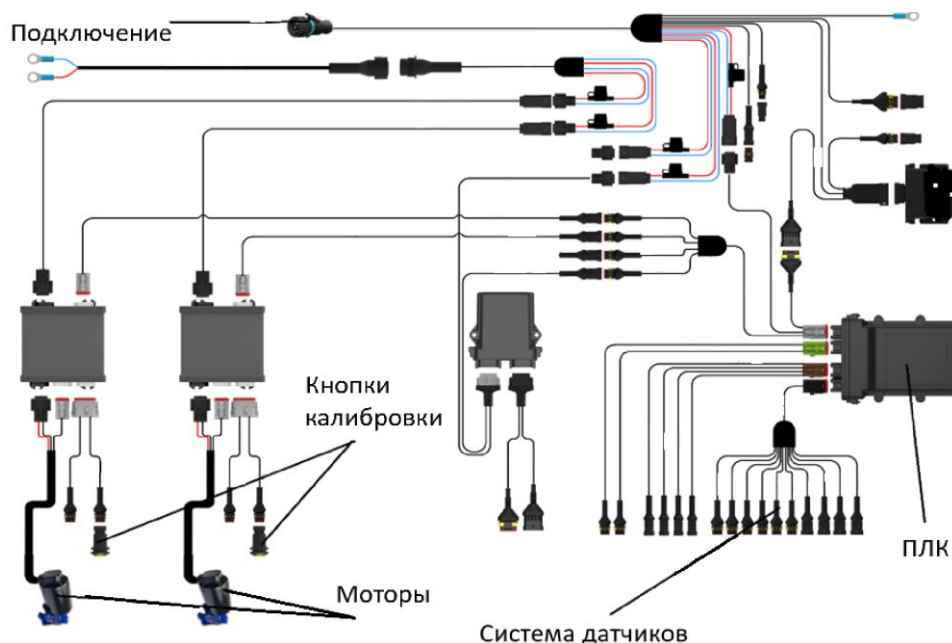


Рисунок 2 – Схема конфигурации системы USC Pro компании Muller Electronics

Данная система решает ряд задач, таких как увеличение производительности, повышение точности высева, адаптация к переменным условиям почвы, экономия семян, сбор данных и мониторинг.

Недостатки системы компании Muller Electronics заключаются в отсутствии возможности следить за положением агрегата в момент работы. Также значительным минусом является ее стоимость и недоступность для покупки в нашей стране.

Еще одним аналогом служит система VDrive от российских производителей Agri. Функционал, предоставляемый этой системой, значительно отличается от вышеописанной, так как предназначен для сеялок точного высева и предоставляет возможность управлять внесением семян на каждый ряд, что позволяет распределить нагрузку на большее количество моторов, но тем самым увеличивая ее стоимость. Такой подход предназначен для высева овощных культур и приводит к снижению устойчивости системы к механическим повреждениям. При этом увеличивается вероятность обрыва проводов, что может привести к внезапной остановке работы. Модуль внесения удобрений не предусмотрен в таких сеялках точного высева, что также делает данный вариант не подходящим для зерновых сеялок.

Аналогом систем с функцией мониторинга параметров работы сеялки может служить система контроля высева СКИФ компании «AMCODOR», предназначенная для точного высева. Пример работы системы можно увидеть на рисунке 3.

Система высева СКИФ предоставляет большой спектр настроек, но ограничена только заранее заданными диапазонами. В то время как возможность во время непосредственного движения агрегата корректировать норму высева в зависимости от скорости трактора является весьма востребованной функцией, повышающей эффективность работы.



Рисунок 3 – Система высева СКИФ

Таким образом, можно сделать вывод, что на белорусском рынке нет систем автоматизации высева, способных обеспечить не только сбор данных о работе сеялки – наполненности бункера, оборотах высевающей катушки, положении агрегата – и отправку этих данных на терминал оператору, но и имеющих возможность регулировать норму высева различных культур, управлять процессом внесения удобрений, а также работой клапанов технологической колеи и других элементов зерновой сеялки. А доступные для покупки системы имеют весьма ограниченный функционал и очень малую вариативность.

Поэтому является актуальной разработка системы, осуществляющей автоматизированный постоянный и бесперебойный мониторинг и полное управление зерновой сеялкой, применимой для работы не только с различными зерновыми, зернобобовыми культурами, травами, но и удобрениями, имеющей простой интерфейс и предоставляющей информацию в удобном для оператора виде.

УДК 004.94

Билитюк Е. С., Козел Н. В.

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

СРЕДСТВА ПАКЕТНОЙ ОБРАБОТКИ КОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Введение

Имеется значительное количество протоколов для обмена в рамках спутниковых и радиолиний связи. Основные принципы их применения оговорены в рамках модели OSI. Интересной является возможность реализации беспроводных протоколов [1].

С развитием использования спутниковых ретрансляторов, предназначенных для проведения дальней радиосвязи, потребовались необходимые протоколы, в частности организации пакетного обмена. Имеются реализации такого обмена на базе микроЭВМ Z-80 [2]. Известны результаты переноса алгоритмов платформы Z-80 на платформу микроконтроллера ESP32 [3].

Целью данной работы является реализация алгоритмов пакетной обработки на встроенной системе, обеспечивающей связь через любительские спутники [4]. При этом решается также задача отслеживания специфики прохождения спутника-ретранслятора над теми или иными широтами земной поверхности.

1 Обзор известных решений

В настоящее время существует множество различных типов пакетных коммутаторов, каждый из которых имеет свои особенности и подходит для разных целей [5]. Вот некоторые из наиболее распространенных типов:

- коммутаторы уровня 2, работают на канальном уровне модели OSI и коммутируют пакеты данных на основе MAC-адресов, используются в небольших сетях, простые в настройке и управлении, не поддерживают маршрутизацию между различными сетями;

- коммутаторы уровня 3, работают на сетевом уровне модели OSI и коммутируют пакеты данных на основе IP-адресов, поддерживают маршрутизацию, обеспечивают более высокую производительность и безопасность, более сложные в настройке и управлении;

- управляемые коммутаторы, предоставляют расширенные функции управления, такие как списки контроля доступа (ACL), виртуальные локальные сети (VLAN) и поддержка качества обслуживания (QoS), используются в корпоративных сетях и сетях операторов связи, где требуются расширенные функции управления, обеспечивают большую гибкость и контроль над сетью, требуют специальных знаний для настройки и управления;

- неуправляемые коммутаторы: не имеют расширенных функций управления и обычно предлагают только базовые функции коммутации, используются в сетях, где не требуются расширенные функции управления;

- гигабитные коммутаторы: поддерживают скорость передачи данных до 1 Гбит/с, используются в корпоративных сетях и сетях операторов связи, где требуется высокая пропускная способность, обеспечивают высокую скорость передачи данных, что подходит для потокового видео, игр и других ресурсоемких приложений;

- коммутаторы Fast Ethernet: поддерживают скорость передачи данных до 100 Мбит/с, не подходят для высокоскоростных сетей;

- PoE-коммутаторы (Power over Ethernet): могут подавать питание на устройства, подключенные к ним по кабелю Ethernet, что устраняет необходимость в отдельных блоках питания, используются для питания таких устройств, как точки доступа Wi-Fi, IP-камеры и телефоны VoIP, упрощают установку и питание устройств, не требуют отдельных блоков питания;

- стекируемые коммутаторы: могут объединяться в единый логический коммутатор, что позволяет расширять количество портов и пропускную способность, используются в крупных корпоративных сетях и сетях операторов связи, где требуется высокая масштабируемость.

Для управления обменом по радиосети можно использовать следующее ПО [6]. Airlink Express – поддержка протоколов PSK, MFSK, RTTY, радиолубительских приемо/передатчиков и специальных команд. CW Decoder – позволяет кодировать/декодировать код Морзе со скоростью 5 ... 50 слов в минуту, функции удобства настройки, заявлена поддержка совместимости от Win XP до Win 10. CW Skimmer – алгоритм декодирования с высокой чувствительностью CW, основанный на методах байесовской статистики одновременное декодирование всех сигналов CW в полосе пропускания приемника – до 700 сигналов при использовании широкополосного приемника, поддерживается процессор DSP с шумоподавителем, AGC и фильтром CW с переменной полосой пропускания. DigiPan – бесплатный soft для радиообмена с использованием протоколов PSK31 и PSK63. В зависимости от полосы пропускания приемопередатчика можно видеть до 40–50 станций PSK31 одновременно. Позволяет в режиме PSK31 по клику на сигнале позывной станции и решить. Все станции декодируются одновременно, а позывной и текст каждой станции непрерывно отображаются на отдельном многоканальном дисплее. Вызовы CQ мгновенно выделяются цветом – достаточно клика по тексту или позывному для установления контакта.

2 Структура разрабатываемой системы

Блок коммутации пакетов можно разделить на следующие подсистемы.

Подсистема ввода/вывода. Эта подсистема отвечает за взаимодействие с пользователем и устройствами. Она включает в себя такие компоненты, как кнопки, датчики, реле и светодиоды.

Подсистема управления. Эта подсистема отвечает за обработку входных данных от пользователя и устройств, а также за отправку команд реле. Она включает в себя такие компоненты, как микроконтроллер ESP32 и программное обеспечение.

Подсистема питания. Эта подсистема обеспечивает питание всех компонентов блока коммутации пакетов. Она включает в себя такие компоненты, как источник питания и регуляторы напряжения.

Веб-интерфейс. Пользователь может получить доступ к веб-интерфейсу блока коммутации пакетов, чтобы управлять его состоянием.

Пакетные коммутаторы работают следующим образом.

Устройство отправляет пакет данных: устройство, отправляющее данные, сначала инкапсулирует данные в пакет. Пакет содержит адрес назначения, адрес источника и другие сведения о данных.

Пакет поступает на коммутатор на один из его портов.

Коммутатор читает адрес назначения, затем пересылает пакет на порт, подключенный к устройству назначения.

Устройство назначения получает пакет: устройство назначения деинкапсулирует данные из пакета и обрабатывает их.

Для реализации пакетной обработки возможно применение следующей схемы (рисунок 1). Предлагается также следующая структура контроллера антенны (рисунок 2). Выделены подсистема отслеживания шагов, канал радиомаяка и приемника, отслеживающая система. Конфигурация подсистемы отслеживания шагов: понижающий детектор, расширяющий детектор, фильтр нижних

частот, решающая схема, временной генератор, шаговый двигатель. Структура каналов радиомаяка и приемника: устройство управления антенной (включая микроконтроллер и АЦП), приемник, понижающий конвертер, поляризатор, управление двигателем. Структура отслеживающей системы включает: система измерения, контроллер, схема сравнения, антенна.

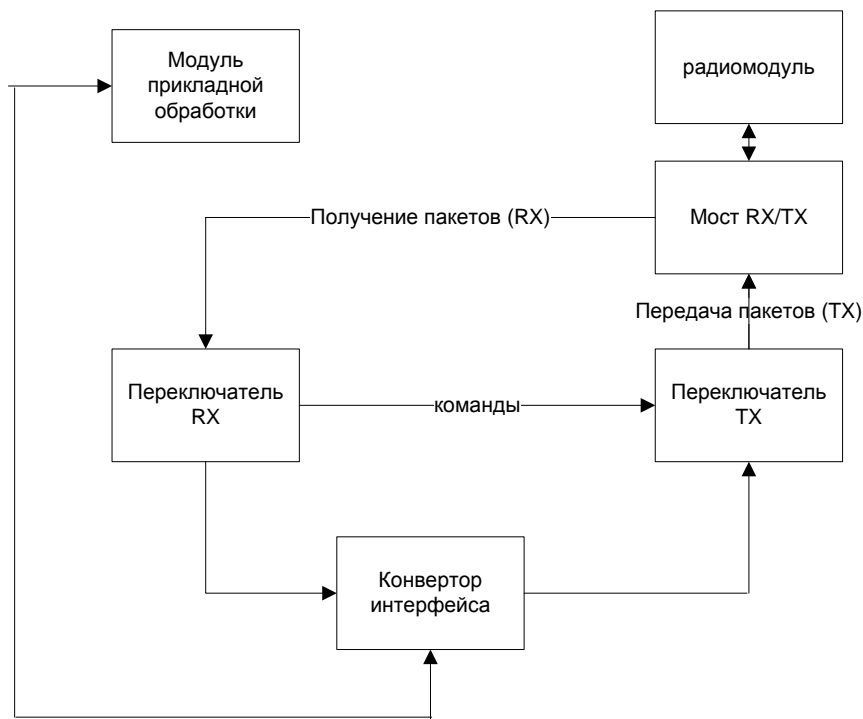


Рисунок 1 – Структура системы пакетной обработки



Рисунок 2 – Структура контроллера антенны

Заключение

Таким образом, с помощью приведенной структуры, становится возможной передача пакетного сигнала и слежения за спутниками-ретрансляторами. Примером может быть сеть радиолюбительских спутников, а также сеть спутников **SatNOGS** – проекта, направленного на создание глобальной сети спутниковых наземных станций. Описание специфики перемещения спутников может быть взято и из других проектов. Возможно использование предлагаемого подхода для задач астрономии, отдельный интерес представляет возможность трекинга космических объектов.

Список цитированных источников

1. Комплекс моделей функционирования и управления пакетной радиосетью КВ-диапазона / Д. О. Беляев [и др.] // Труды учебных заведений связи. – 2020. – Т. 6, № 1. – С. 32–44. DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-1-32-42
2. Основы и практика любительской радиосвязи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rdclub.ru/rtty/98-packet-radio>. – Дата доступа: 21.05.2024.
3. Клон ZX-Spectrum на ESP-32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/ZKXDu7QIJErpx8DS>. – Дата доступа: 21.05.2024.
4. Как начать работать с любительской спутниковой радиосвязью [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://r3rt.ru/%D0%BA%D0%B0%D0%BA-%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%8C-%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C-%D1%81-%D0%BB%D1%8E%D0%B1%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9-%D1%81%D0%BF/>. – Дата доступа: 21.05.2024.
5. Кучерявый, А. Е. Пакетная сеть связи общего пользования / А. Е. Кучерявый, Л. З. Гильченко, А. Ю. Иванов. – М. : Наука и техника, 2004.
6. CW, SSB, PSK, RTTY. Прием видов связи. Типовой софт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://techstop-ekb.ru/sdr-receiver/rtl-8-cw.htm>. – Дата доступа: 21.05.2024.

УДК 004.383::616-079

Дыдик А. И.

Научный руководитель: к. т. н., доцент кафедры ИИТ Разумейчик В. С.

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ГЛЮКОМЕТРА

Самоконтроль уровня сахара в крови представляет собой мониторинг концентрации глюкозы в крови, который традиционно осуществляется с помощью домашнего электронного глюкометра. Такой самоконтроль обычно проводится несколько раз в течение дня, в зависимости от индивидуальных рекомендаций врача. Регулярный самоконтроль помогает пациентам контролировать эффективность назначенного лечения, выявлять причины изменения в уровне глюкозы и корректировать свой образ жизни и диету согласно полученным данным. Это позволяет предотвратить возможные осложнения у больных сахарным диабетом:

- длительное нахождение человека в состоянии гипогликемии (снижение уровня сахара в крови ниже 3,3 ммоль/л) приводит к отеку вещества головного мозга, структурным нарушениям в клетках коры мозга, их гибели;

- гипергликемия (повышение уровня сахара в крови) приводит к множеству осложнений, связанных главным образом с поражением мелких и/или крупных сосудов.

С целью упрощения процедуры регулярного самоконтроля уровня сахара в крови был разработан неинвазивный оптический глюкометр и мобильное приложение для него. На рисунке 1 представлен макет разработанного неинвазивного оптического глюкометра на основе оптических датчиков: светодиода BIR-BM1331 и фотодиода BL-L3522PD [2]. Устройство содержит OLED-дисплей SSD1306 для отображения результата измерений и блок управления ESP8266 для передачи информации на мобильное устройство по интерфейсу Wi-Fi.



Рисунок 1 – Внешний вид макета неинвазивного оптического глюкометра

Разработанный оптический глюкометр отслеживает отклонение получаемых значений и, если отклонение выходит за рамки допустимого, пользователю выводится сообщение об этом.

Для передачи данных используется домашняя Wi-Fi-сеть, к которой подключено устройство, в противном случае глюкометр создаёт свою локальную сеть. Программное обеспечение оснащено функцией, которая отправляет в мобильное приложение JSON-объекты с временем и результатом измерений. Приложение, получив данные, выполняет их распаковку и сохранение измерений в базе данных SQL.

Разработанное на языке Java в среде Arduino Studio мобильное приложение имеет удобный пользовательский интерфейс с простой и наглядной визуализацией результатов уровня сахара в крови как в виде графика, так и в виде таблицы, возможностью сохранения результатов в удаленной базе данных (реализация клиент-серверной архитектуры). Применение удалённой базы данных позволит лечащему врачу дистанционно, из любой точки мира, посмотреть электронный дневник самоконтроля и при необходимости внести коррективы в лечение пациента.

Экранные формы разработанного мобильного приложения на примере считанных данных из неинвазивного глюкометра представлены на рисунке 2.

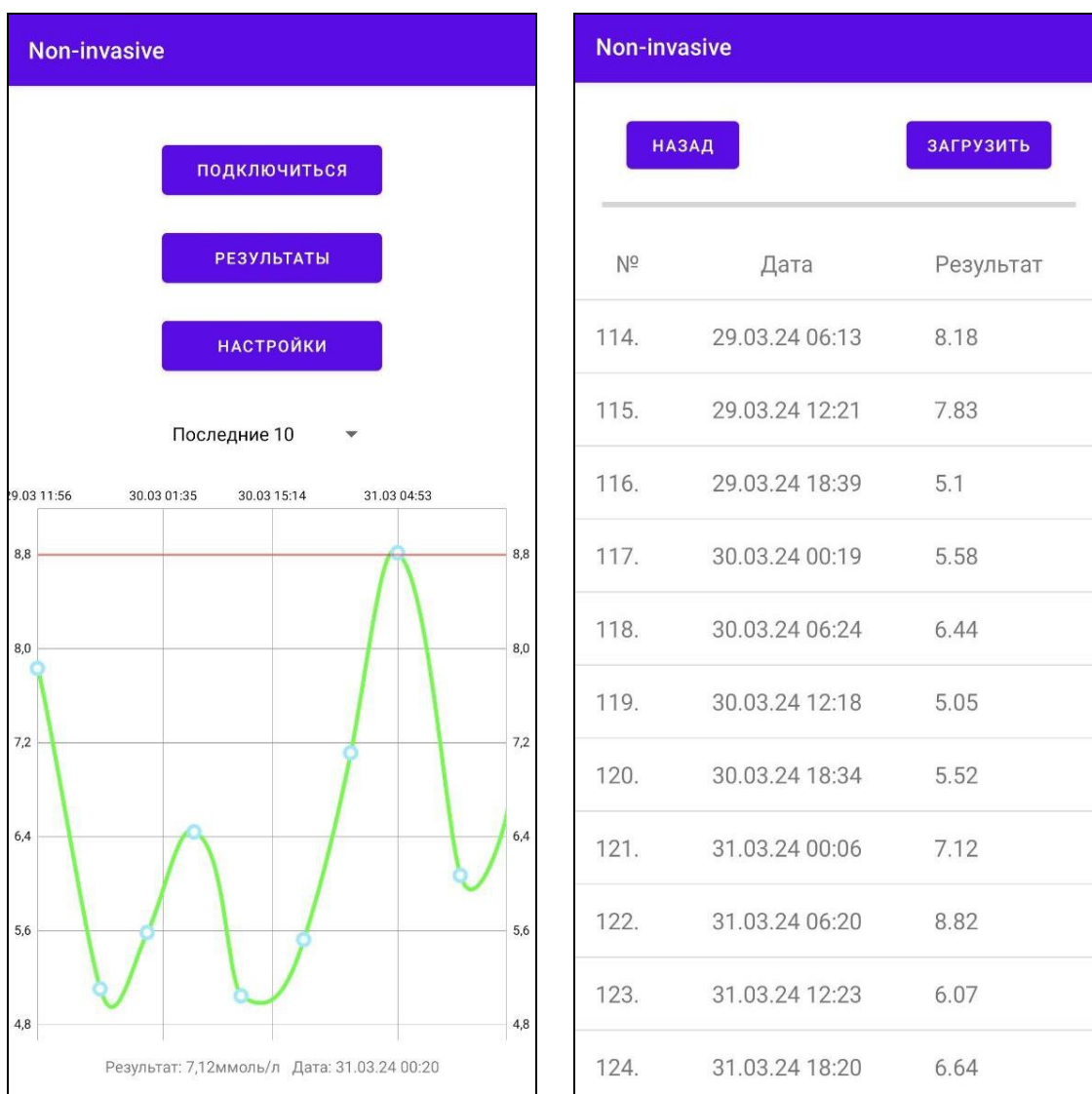


Рисунок 2 – Экранные формы мобильного приложения

Для проведения измерений устройство необходимо откалибровать с использованием результатов, полученных классическим инвазивным методом, например инвазивным домашним глюкометром Bionime GM100.

Данные для калибровки вводятся вручную. Алгоритм калибровки использует полином Лагранжа. Калибровку следует проводить для каждого нового пользователя индивидуально, после калибровки прибор предназначен для индивидуального использования.

Проведены серии натуральных экспериментов для двух разных людей, которые продемонстрировали корреляцию измерений, полученных индивидуально откалиброванным оптическим глюкометром, с результатами традиционного инвазивного глюкометра. Различие составляет менее 5 %. Полученные эмпирические результаты подтверждают адекватность работы разработанного неинвазивного глюкометра.

В таблице 1 представлены полученные в течение недели результаты измерений уровня сахара в крови. Уровень гликемии измерялся перед каждым приёмом пищи и через два часа после.

Таблица 1 – Уровень сахара в крови в течение недели

Время	8:00	10:00	13:00	15:00	18:00	20:00
Понедельник, ммоль/л	5,5	6,3	5,1	5,9	5,8	6,4
Вторник, ммоль/л	5,0	5,9	5,2	6,1	5,5	6,8
Среда, ммоль/л	5,1	5,5	5,6	5,1	5,5	6,5
Четверг, ммоль/л	4,7	5,3	5,3	6,1	5,7	5,9
Пятница, ммоль/л	4,9	6,1	5,8	8,3	6,6	6,9
Суббота, ммоль/л	5,1	6,6	5,9	7,3	5,8	7,5
Воскресенье, ммоль/л	5,3	7,0	5,6	6,6	5,4	7,8

С понедельника по четверг приложение уведомляло пользователя о том, что сахар в крови в норме. В пятницу в 15 часов дня вывелось уведомление о том, что необходимо проследить уровень сахара в крови, потому что он незначительно повышен. В субботу и воскресенье всё было хорошо. В следующий понедельник, открыв приложение, пользователь получил уведомление о том, что среднее значение уровня сахара в крови за неделю составило 5,9 ммоль/л.

К существенным преимуществам разработанного глюкометра с мобильным доступом можно отнести: малые физические размеры комплекса, его мобильность, быстрые и точные измерения, возможность быстрой установки мобильного приложения, удобство пользовательского интерфейса, низкую стоимость.

Список цитированных источников

1. Самоконтроль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Самоконтроль_при_сахарном_диабете. – Дата доступа: 16.04.2024.
2. Дыдик, А. И. Исследование возможности применения неинвазивного оптического метода глюкометрии / А. И. Дыдик, В. С. Разумейчик // Цифровая среда: технологии и перспективы. ДЕТР 2022, Брест, 31 октября 2022 г. / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет; редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2022. – С. 143–148.

УДК 004.087.5

Козик И. Д.

Научный руководитель: к. т. н., доцент кафедры ИИТ Савицкий Ю. В.

СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КИСТИ В ПРОСТРАНСТВЕ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

В настоящее время наблюдается стремительное увеличение количества разработок в области технологии виртуальной реальности, которая позволяет в той или иной степени позволяет погружаться в виртуальное пространство. Виртуальная реальность – созданный техническими средствами мир, передаваемый человеку через его ощущения: зрение, слух, осязание и другие. Для взаимодействия с виртуальными объектами используются различные устройства, в частности перчатки, которые позволяют определять положение руки и пальцев пользователя и передавать эти данные на вычислительный модуль системы виртуальной реальности [1].

Некоторые производители VR-перчаток, в качестве дополнительного канала связи внедряют в свои устройства силовую обратную связь. Это позволяет

пользователю, при взаимодействии с виртуальными объектами, ощутить реальный, физический отклик на действия в среде виртуальной реальности, позволяет усилить ощущения от погружения в среду виртуальной реальности, сделать их более реалистичным. Разработка нового, более дешевого и удобного устройства, использующего иные принципы для организации силовой обратной связи, позволит конечным пользователям их приобретение, и, как следствие, расширит их опыт в пребывании в среде виртуальной реальности.

Представляют интерес перчатки, использующие для организации силовой обратной связи синтетические мышцы, они же актуаторы. Исследователи из Колумбийского Университета в своих исследованиях в качестве матрицы актуатора использовали силиконовый каучук Ecoflex 00-50 [2], который обладает твердостью по Шору 50 единиц, удлинением до разрыва 150 % и прочностью на разрыв 20 кН/м. В качестве альтернативы предполагается использовать фотополимерную смолу Resione f39, которой можно печатать с использованием фотополимерного 3D принтера. После печати получается гибкое, растяжимое изделие, которое имеет следующие характеристики: твердость по Шору 65 единиц, удлинение до разрыва 250 %, прочность на разрыв 50 кН/м. Как видно, данный материал обладает характеристиками, куда превосходящими Ecoflex 00-50. К тому же, фотополимерные принтеры печатают с куда большей точностью, а так же позволяют печатать изделия со сложной внутренней геометрией, в отличии от FDM-принтера, использованного исследователями из Колумбийского Университета. Как итог, для будущих опытов предполагается использовать фотополимерную смолу Resione f39.

Выбор активного вещества. Исследователи из Колумбийского Университета в своих исследованиях [3] в качестве активного вещества использовали этиловый спирт, который при нагревании нихромовой спиралью начинал активно испаряться, чем вызывал расширение силиконовой матрицы. Однако, этиловый спирт имеет температуру кипения +78,39 °С, что не позволяет быстро его нагреть и довести до кипения, а так же, ввиду относительно высокой температуры, не позволяет и быстро охладить. В результате страдает быстродействие искусственной мышцы, а это критично в системах виртуальной реальности.

После тщательного анализа предметной области, а именно поиска жидких, доступных к покупке, безопасных, а главное – легкоиспаримых веществ, был найден подходящий кандидат. Им оказался ацетальдегид – что удивительно, производное этилового спирта. Его температура кипения 20,2 °С, а значит, он может начать кипение уже при комнатной температуре. Такая низкая температура кипения позволит, при использовании его в качестве активного вещества электрической мышцы Маккибена, существенно увеличит скорость сжатия и растяжение, что делает его пригодным к использованию его в системах виртуальной реальности.

Выбор конфигурации мышц. Так как к качестве матрицы будет использоваться фотополимерная смола Resione f39, то, используя все преимущества фотополимерных 3D принтеров, можно задать сложную внутреннюю геометрию искусственной мышцы, что позволит существенно повысить ее эффективность. Инновационность внутренней структуры происходит из расположения и конфигурации нихромовой проволоки – нагревателя и напечатанной гибкой поддержки. Они представляют собой двойную (опционально – тройную, четверную

и т.д.) спираль (рисунок 1). Форма спирали выбрана не случайно. Во-первых, она позволяет получить максимальную длину нагревателя при минимальном объеме. Во-вторых, это позволяет мышце, при сокращении, не создавать точек перегиба, которые приводят к возникновению усталости металла и, в конечном итоге, приводят к поломке нагревателя и выходу мышцы из строя. В данной паре гибкая поддержка выполняет одновременно 2 роли: она позволяет мышце держать форму и препятствует виткам проволоки контактировать друг с другом, что может привести к короткому замыканию.

Предполагаемая внутренняя структура представлена на рисунке 1

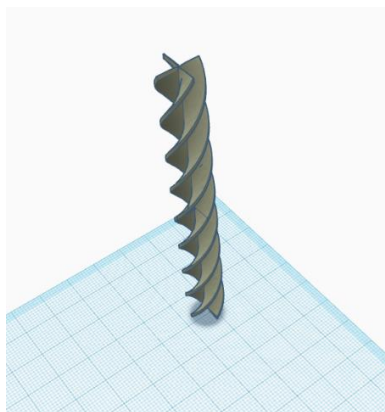


Рисунок 1 – Двойная спираль, которая будет находиться в центре предполагаемой мышцы

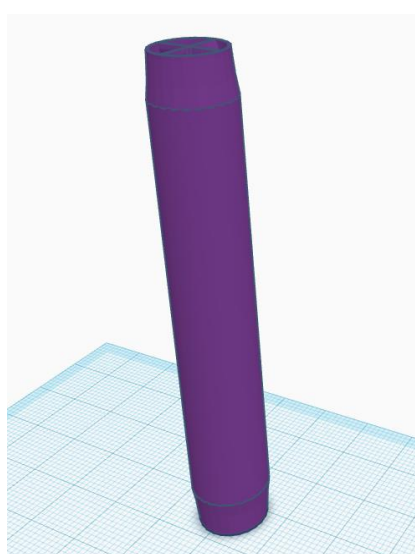
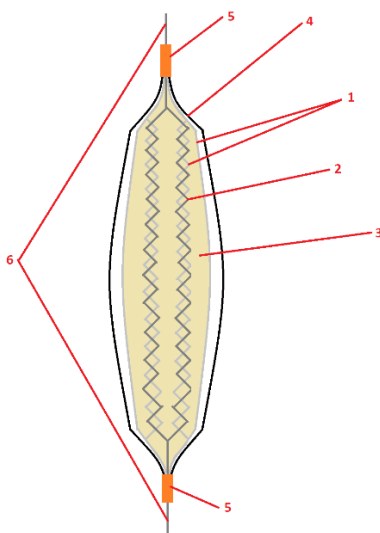


Рисунок 2 – Готовая к печати искусственная мышца

Искусственная мышца, представленной конфигурации, после печати будет помещена в кожух из нерастяжимых нитей, которых будет препятствовать ее поперечному расширению, а так же, будет способствовать возвращению ее к нормальному состоянию после отключения питания. С обоих концов мышцы она будет обжиматься металлическими трубками, что позволит избежать ненужного испарения ацетальдегида и будет поддерживать требуемую форму. При этом стоимость печати подобной составляет около 50 копеек, что определенно ниже стоимости иных типов актуаторов. Общая схема синтетической мышцы представлена на рисунке 3.



1 – напечатанная деталь, состоящая из пакета и гибких спиралей,
 2 – спираль из нихромовой проволоки, 3 – ацетальдегид, 4 – кожух из нерастяжимых нитей,
 5 – обжатые трубки, 6 – выходы нагревательных элементов
Рисунок 3 – Схематичное изображение искусственной мышцы

3D печать мышцы. Для печати мышцы будет использоваться фотополимерный 3D принтер Anycubic Photon Mono 2, фотополимером будет выступать упомянутый ранее Resione F39. После настроек принтера и подготовки модели, печать заняла 8 часов и прошла без проблем. Конечная стоимость материала, затраченного на печать одной мышцы, составила около 0.25\$, что определенно сильно дешевле, скажем, сервопривода или актуатора любого другого типа (рисунки 4 и 5).

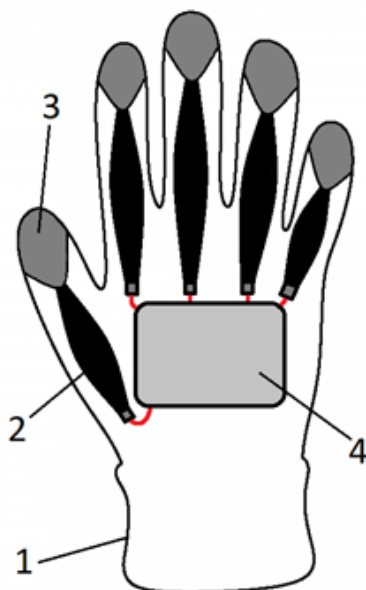


Рисунок 4 – Напечатанная мышца в разрезе



Рисунок 5 – Собранная и опрессованная мышца в оплетке

Конечное предполагаемое устройство, для которого в частности проектировались данные мышцы, а также принцип их действия на пальцы пользователя, схематически представлены на рисунке 6.



1 – перчатка, 2 – синтетическая мышца, 3 – крепление для пальца, 4 – управляющий модуль
Рисунок 6 – Схематичное изображение перчатки с силовой обратной связью

В процессе сборки устройства было решено добавить металлическую пластину, которая окружает ладонь. Это было сделано, во-первых, чтобы усилить конструкцию, на которую будет оказываться некоторое усилие от обратной связи, а во-вторых, чтобы появилась устойчивая платформа, на которой можно было бы компактно и удобно поместить управляющий модуль, а также прикрепить мышцы. Конечное устройство можно увидеть на рисунке 9.



Рисунок 9 – Собранная перчатка с прикрепленными наконечниками для пальцев а также металлической пластиной вокруг ладони

Заключение. В ходе выполнения данной работы были рассмотрены существующие методы организации силовой обратной связи в системах виртуальной реальности, их достоинства и недостатки, а также разработан новый тип синтетических мышц, пригодный для организации силовой обратной связи.

Проект системы, разработанный в ходе данной работы, является ориентированным на внедрение и интеграцию с рядом VR-гарнитур, в частности Oculus Quest 2 [4]. Это позволит использовать эту гарнитуру, к слову самую популярную в мире, в целях рекламы данного устройства.

Список цитированных источников

1. Родионов, Г.; Родионов, И. VR-тренажер электромеханика РЖД [Электронный документ] // Tingo Interactive. – 2016. – Режим доступа: https://tengointeractive.ru/electrician_vr, свободный (дата обращения 16.05.2022).

2. TeslaSuit: костюм, который меняет реальность [Электронный документ] // Chip. – 2018. – Режим доступа: <https://ichip.ru/teslasuit-kostyum-kotoryjj-menyuet-realnost.html>, свободный (дата обращения 16.06.2020).

3. Кугуракова, В.В.; Хафизов, М.Р.; Абрамов, В.Д.; Шараева, Р.А.; Газизов, Р.Р.; Зиннуров, Т.М.; Зинченко, С.В. Программа для обучения аппендэктомии в виртуальной реальности [Текст] / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020613665. Российская Федерация // заявитель и правообладатель Фед. гос. автоном. образоват. учреждение высш. образ. Казанский фед. ун-т. –2020. – 1 с.

4. VR в психиатрии: когда надо включить воображение [Электронный документ] // DX.media. – 2018. – Режим доступа: <https://dx.media/articles/how-it-works/vr-v-psikhiatrii-kogda-nado-vklyuchit-voobrazhenie/> свободный (дата обращения 16.06.2020).

УДК 53.087

Макаревич П. А.

Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Гладыщук А. А.

ОТ МАГНИТНОГО КОМПАСА ДО СОВРЕМЕННОЙ ГЕОЛОКАЦИИ

Введение

Историческое развитие навигации тесно связано с изобретением магнитного компаса, который послужил началом для развития последующих приборов для навигации. Ряд ученых и моряков проводили изучение способов навигации на море, вследствие чего происходил бурный рост в навигации, решение навигационных проблем; образование отдельных наук, основанных на навигации. Все эти действия привели к созданию современной геолокации и отдельных наук, базирующихся на ней, без которых современный человек не может обойтись.

Историческая справка [1, 2, 3, 4]

Компас был изобретен в Китае во время династии Хань между II-м в. до н. э. и I в. н. э.

Средние века. С XII века в Западной Европе становится известна астролябия.

Первым прибором для измерения высоты объектов звездного неба стал квадрант.

В начале XIV века был изобретен кросс-стафф – портативный прибор, использовавшийся для определения угла возвышения солнца в полдень, что позволяло вычислить географическую широту судна.

В 1590 г. Джон Дэвис изобрел бэк-стафф, в котором был устранен эффект ослепления наблюдателя солнечным светом.

Фламандский картограф Герард Кремер при составлении навигационной карты мира на 18 листах (1569 год) применил равноугольную цилиндрическую проекцию Меркатора – одну из основных картографических проекций, широко используемых в современной морской и аэронавигации.

XVII и XVIII века. Иоганн Кеплер открыл три закона движения планет. Первые два в 1609 г., а третий – в 1619 г.

В 1668 г. Джованни Доменико Кассини впервые провел успешное измерение долготы по методу Галилея, наблюдая за затмениями спутников Юпитера.

В 1675 г. согласно королевскому указу была создана Гринвичская обсерватория «для того, чтобы научиться определять такую необходимую долготу с целью совершенствования искусства навигации».

Практически одновременно с морским хронометром был изобретен секстант (в морской терминологии – «секстан») – навигационный измерительный инструмент, используемый для измерения высоты светила над горизонтом с целью определения географических координат.

Секстант в 1730 г. изобрели два человека – английский математик Джон Хадли и американский изобретатель Томас Годфри.

В Россию навигация как самостоятельная наука, пришла в эпоху Петра I, указом которого 14 января 1701 г. в Москве была создана «Навигацкая школа» – первое в России и второе в Европе специализированное техническое учебное заведение с базовой математической подготовкой. С 1702 г. школа размещалась в Сухаревой башне.

XIX и XX века. В 1840 г. Анри Рапер опубликовал книгу «Практическое пособие по навигации и морской астрономии».

В 1820–1830 гг. немецкий математик Карл Фридрих Гаусс разработал равноугольную поперечно-цилиндрическую проекцию, названную его именем.

Огромный вклад в развитие навигации внесло изобретение гироскопа и создание на его основе гироскопического компаса (гироскопа).

В 1884 г. на Международной меридианной конференции в Вашингтоне было предложено принять Гринвичский меридиан за нулевой, а Гринвичское время за начало отсчета времени для всех других временных зон.

XX век. В XX веке появилась аэронавигация.

В 1920 г. появились первые системы инерциальной навигации, построенные на основе трех акселерометров, которые устанавливали ортогонально на платформе, стабилизированной при помощи гироскопов.

Одним из первых навигационных устройств с электронными компонентами был автомобильный одограф, который автоматически рисовал траекторию транспортного средства на карте в надлежащем масштабе (разработан во время Второй мировой войны инженерами США).

В конце 1960-х гг. был сделан первый шаг к созданию современных интеллектуальных транспортных систем.

Прототип первой автоматической системы управления маршрутом появился в начале 1970-х гг.

Первые автономные коммерческие системы такого типа появились в начале 1980-х гг., первая автономная система с использованием цифровых карт, хранящихся на CD-ROM и отображающихся на цветном дисплее – в середине 1980-х гг., а первая автономная система с использованием приемника GPS – в 1990-х гг.

Экспериментальная задача по определению географических координат города Бреста, исходя из географических координат города Ивацевичи [5]

Решение данной задачи производится способом статического относительно-го позиционирования при использовании четырех спутников.

Относительный метод определения координат местоположения (относительное позиционирование) заключается в одновременном выполнении спутниковых измерений двумя (и более) приемниками.

В относительном методе через абсолютные координаты пунктов, полученные из непосредственных измерений, определяется приращение координат (пространственный вектор) между ними, которое будет свободно от ошибок абсолютного позиционирования.

Условие

Географические координаты г. Ивацевичи $52^{\circ}42'33''$ с. ш. $25^{\circ}20'20''$ в. д., высота над уровнем моря 0,148 км. Расстояния до спутников: $D1 = 19100$ км, $D2 = 20900$ км, $D3 = 19450$ км, $D4 = 20000$ км. Большая полуось эллипсоида: $a = 6378,16$ км, малая полуось эллипсоида: $b = 6356,777$ км.

Ход решения

Находим следующие значения: эксцентриситет эллипсоида (формула 1), радиус кривизны первого вертикала (км) (формула 2):

$$e = \sqrt{(a^2 - b^2) \div a^2}, \quad (1)$$

$$N = a \div \sqrt{(1 - e^2 * (\sin(\varphi))^2)}. \quad (2)$$

Получаем следующие значения: $e = 0.081816$, $N = 6.382074 * 10^3$. После получения этих данных, при помощи прямой геодезической задачи, происходит преобразование географических координат в прямоугольные пространственные координаты (формулы 3, 4, 5):

$$X = (N + h) * \cos(\varphi) * \cos(\gamma), \quad (3)$$

$$Y = (N + h) * \cos(\varphi) * \sin(\gamma), \quad (4)$$

$$Z = (N * (1 - e^2) + h) * \sin(\varphi), \quad (5)$$

где φ – значение широты, γ – значение долготы.

Преобразованные координаты: $X = 5.213254 * 10^3$, $Y = 2.468623 * 10^3$, $Z = 2.713121 * 10^3$.

После преобразования координат используем формулу для нахождения расстояния между двумя точками по их координатам (формула 6) и получаем примерные координаты спутников (таблица 1):

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}. \quad (6)$$

Таблица 1 – Значения координат спутников

Номер спутника	Координаты спутника (км)		
	X	Y	Z
1	$-5.658 \cdot 10^3$	$-8.637 \cdot 10^3$	$-8.39 \cdot 10^3$
2	$-7.553 \cdot 10^3$	$-9.216 \cdot 10^3$	$-9.004 \cdot 10^3$
3	$-5.754 \cdot 10^3$	$-8.898 \cdot 10^3$	$-8.638 \cdot 10^3$
4	$-6.196 \cdot 10^3$	$-9.146 \cdot 10^3$	$-8.903 \cdot 10^3$

Поскольку в данном способе определения координат используются два приёмника, мы можем вычислить расстояние от каждого спутника до г. Бреста (км), используя теорему косинусов (используя угол между первоначальным расстоянием до спутника и расстоянием между двумя приёмниками):

$$D1.1 = 19100.528, D1.2 = 20100.48, D1.3 = 19450.517, D1.4 = 20000.5$$

Далее, используя формулу для нахождения расстояния между точками по их координатам, находим приблизительные координаты г. Бреста (таблица 2).

Таблица 2 – Значения координат искомого пункта

Номер спутника	Координаты г. Бреста (км)		
	X	Y	Z
1	$3.892 \cdot 10^3$	$3.437 \cdot 10^3$	$2.913 \cdot 10^3$
2	$2.941 \cdot 10^3$	$4.679 \cdot 10^3$	$2.552 \cdot 10^3$
3	$3.854 \cdot 10^3$	$3.589 \cdot 10^3$	$2.849 \cdot 10^3$
4	$3.671 \cdot 10^3$	$3.735 \cdot 10^3$	$2.786 \cdot 10^3$

Приводим полученные данные к усреднённому значению по каждой оси (км): $\Delta X = 3.5895 \cdot 10^3$, $\Delta Y = 3.86 \cdot 10^3$, $\Delta Z = 2.775 \cdot 10^3$

Далее находим разницу координат между 1 и 2 пунктом (км) (формулы 7, 8, 9):

$$\{X\} = \Delta X - X, \quad (7)$$

$$\{Y\} = \Delta Y - Y, \quad (8)$$

$$\{Z\} = \Delta Z - Z, \quad (9)$$

$$\{X\} = -1.623754 \cdot 10^3, \{Y\} = 1.391377 \cdot 10^3, \{Z\} = 61.87741 \cdot 10^3.$$

Дальнейший шаг – преобразование полученных пространственных прямоугольных координат в географические при помощи обратной геодезической задачи.

Для начала нужно ввести некоторые переменные: радиус параллели Q , r , геоцентрическую широту α (формулы 10, 11, 12 соответственно). После этого находим географическую широту при помощи итеративного процесса:

$$Q = \sqrt{\{X\}^2 + \{Y\}^2}, \quad (10)$$

$$r = \sqrt{\{X\}^2 + \{Y\}^2 + \{Z\}^2}, \quad (11)$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\{Z\}}{r}\right) \text{ или } \alpha = \arccos\left(\frac{Q}{r}\right). \quad (12)$$

Полученные значения: $Q = 2.138342 \cdot 10^3$, $r = 2.139237 \cdot 10^3$, $\alpha = 25.5^\circ$.

При итеративном процессе при нахождении широты производится некоторое количество приближений, в нашем случае мы используем 2 приближения:

$$V_0 = \frac{e^2 * Q * \{x\}}{r^2}, \quad (13)$$

$$B_1 = \alpha + V_0, \quad (14)$$

$$V = \frac{a * e^2 * \sin(B_1) * \cos(B_1)}{r * \sqrt{1 - e^2 * \sin(B_1)^2}}, \quad (15)$$

$$B = B_1 + V, \quad (16)$$

где $V_0 = \sin(B_0 - \alpha)$, B_0 – первичная широта (в нашем случае равна 0), B_1 – первичное приближение широты, B – искомая широта. Получаем: $V_0 = 25.5^\circ$, $B_1 = 51^\circ$, $V = 1^\circ$, $B = 52^\circ$ северной широты.

Следующим шагом является нахождение долготы (формула 17).

$$L_0 = \frac{\pi}{2} - 2 * \operatorname{atan}\left(\frac{\{x\}}{Q + \{y\}}\right). \quad (17)$$

В результате расчёта получаем тангенс 2.433113, что приблизительно равно 67,5 градусов.

Так как долгота отсчитывается до 360° то необходимо привести её к необходимому значению за четверть:

$$Y < 0, X > 0, \text{ то } L = 2\pi - L_0$$

$$Y < 0, X < 0, \text{ то } L = \pi + L_0$$

$$Y > 0, X < 0, \text{ то } L = \pi - L_0$$

$$Y > 0, X > 0, \text{ то } L = L_0$$

$$Y = 0, X > 0, \text{ то } L = 0$$

$$Y = 0, X < 0, \text{ то } L = \pi.$$

Рисунок 1 – Отсчёт долготы до 360°

Так как в этом случае $\{X\}$ отрицательное, а $\{Y\}$ положительное нужно преобразовать полученную широту (рисунок 1) по формуле 18:

$$L = \pi - L_0, \quad (18)$$

В результате преобразования получаем 22.5 градуса восточной долготы.

В следствии данной задачи получили следующие значения: 52° с. ш. $22^\circ 30'$ в. д., высота над уровнем моря 62 км.

Решение данной задачи позволило нам убедиться, что определение координат при помощи спутникового метода является достаточно точным, даже в первом приближении. Последующие приближения позволят получить точные координаты искомого пункта.

Заключение

Таким образом, начиная с изобретения компаса, люди начали изучать методы и способы навигации, что привело к её всеобъемлющему развитию и созданию отдельных наук и дисциплин. Все полученные знания и приборы и последующие исследования положили начало развитию картографии, систем ориентирования, GPS-систем и т. д., а также плотно вошли в различные сферы деятельности, не связанные или косвенно связанные с навигацией.

Список цитированных источников

1. Меррилл, Р. Т. Магнитное поле Земли: его история, происхождение и планетарная перспектива / Р. Т. Меррилл, М. У. Макэлхинни. – 2-е печатное изд. – Сан-Франциско, 1983. – С. 101–106.
2. Лоури, У. Основы геофизики / У. Лоури. – Лондон : Издательство Кембриджского университета, 2007. – С. 56–73.
3. Мартин, У. Р. Навигация : Британская энциклопедия / У. Р. Мартин, В. Х. Чисхолм. – 11-е изд. – Лондон : Издательство Кембриджского университета, 1911. – Том 19. – С. 150–160.
4. Боудич, Н. Американский практический навигатор / Н. Боудич. – Мэриленд : Национальное агентство изображений и картографии, 2002.
5. Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии / К. М. Антонович. – Москва, 2006. – 2 т.

УДК 538.91, 548.73, 378.147: 53

Манн А. С.

Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Гладыщук А. А.

ПРОЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОВ СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ И ИМПУЛЬСА В ГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Решение физических задач графическими методами обладает неоспоримым преимуществом, так как визуализирует сам процесс расчета и дает возможность направлять решение в нужное русло для получения ожидаемого результата. В данной работе рассмотрен упругий удар двух шаров в классическом приближении и примеры применения законов сохранения импульса и энергии в релятивистском случае для элементарных частиц [1, 2].

Исследование неупругого удара

Удар (или соударение) – это столкновение двух или более объектов, взаимодействие которых длится очень короткое время. Воспроизведём взаимодействие шаров разной массы и размеров с помощью смоделированной нами задачи и исследуем абсолютно неупругий удар. Для ее решения нужно будет найти линию удара – это прямая линия, которая совпадает с нормалью к общей касательной плоскости; при этом различают центральный и косой удары.

Стробоскопическая фотография – это фиксация и передача кинетического действия за равные промежутки времени. Процесс соударения шаров удобно рассматривать с помощью таких фотографий. На стробоскопических фотографиях удаётся зафиксировать положения тел через строго фиксированный промежуток времени τ .

Рассмотрим пример с соударением шаров на стробоскопической фотографии. Задачи для аналитической части были спроектированы и выполнены самостоятельно с помощью специализированной программы AutoCAD, в которой можно смоделировать различные ситуации и менять физические параметры.

На чертеже (рисунок 1) представлена стробоскопическая фотография движения двух шаров, радиусами R_1 и R_2 по пересекающимся прямым. Направления их движения соответствует векторам скоростей, буквами А и В обозначим начальные положения центров масс шаров. Зададим величины скоростей шаров V_1 и V_2 на рисунке с помощью масштабной линейки. Проводя построения и выбрав удобный масштаб, графическим методом выясним, столкнутся ли шары.

Для решения задачи более удобно будет перейти в систему отсчета, в которой один из шаров покоится относительно второго. При движении со скоростью в системе отсчета, в которой шар 2 покоится, шар 1 движется со скоростью $\bar{V}_{отн} = \bar{V}_1 - \bar{V}_2$ в створе цилиндра С, образующие которого параллельны вектору $\bar{V}_{отн}$. Если шар 2 пересекает поверхность этого цилиндра – столкновение произойдет; в противном случае – нет. Очевидно, столкновение происходит при $P \leq R_1 + R_2$.

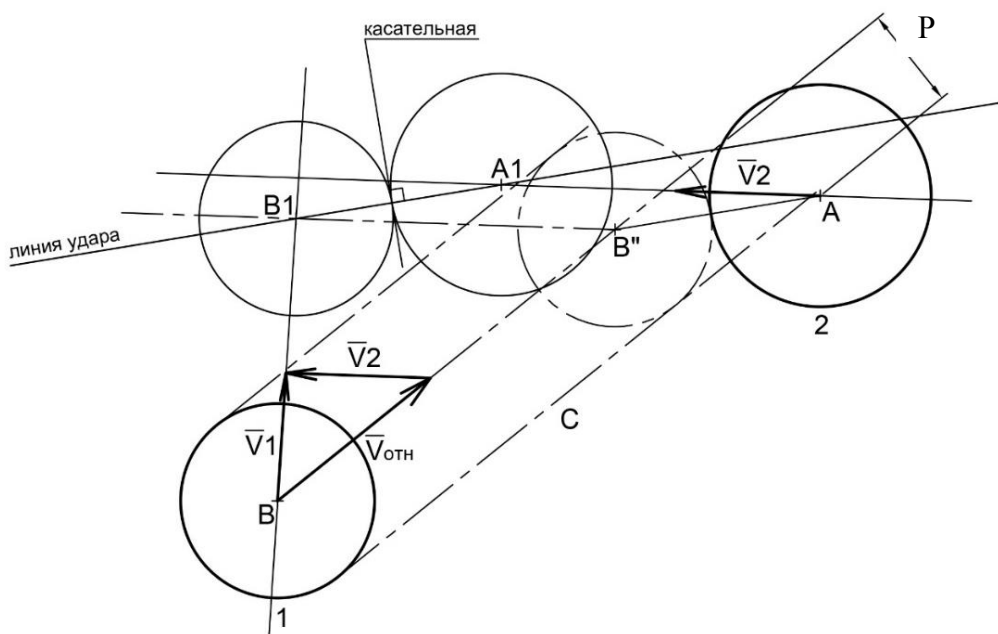


Рисунок 1 – Нахождение линии удара шаров 1 и 2

В момент соприкосновения центр шара 1 находится в точке B'' , стоящей от точки А на расстоянии, равном $|B''A| = R_1 + R_2$. Отложив точку B'' и сделав засечку на прямой BB'' , отмерить от точки А расстояние равное $|R_1 + R_2|$.

Как видно из рисунка, в этой задаче эффективный диаметр движения шара 1 пересекает поверхность шара 2, из чего следует, что шары 1 и 2 должны столкнуться и образовать линию удара. Расстояние между центром шара 2 и линией BB'' движения первого шара, обозначенное на рисунке через P , называется прицельным параметром.

Выполнив окончательное построение и измерив получившееся расстояние $|BB''|$ и $\bar{V}_{отн}$ по чертежу, можно определить момент соударения t (1):

$$t = \frac{|BB''|}{V_{отн}} . \#(1)$$

Переход в неподвижную систему отсчета осуществляется следующим образом: в неподвижной СО центр шара 2 движется вдоль линии, поэтому, снося точку В'' на линию ВО, получаем положение В' центра шара 2 в момент соприкосновения в неподвижной системе отсчета. Проводя $A_1B_1 \parallel AB''$, находим и положение центра шара 1 в момент соударения шаров. Время соударения теперь можно определить следующим образом (2):

$$t = \frac{|AA''|}{V_1} = \frac{|BB''|}{V_2} . \#(2)$$

Очевидно, что прямая A_1B_1 и является линией удара.

Исследуем пределы изменения столкновения шаров от изменения их параметров. Можно предположить, что основными влияющими на столкновение характеристиками являются: вектор скорости и его величина, радиусы шаров, масса шаров и начальное местоположение в пространстве относительно друг друга. Изменение этих параметров рассмотрим для рисунка 1:

1. Направление скоростей. Для исследования этой характеристики будем изменять угол между линиями движения шаров, при этом не изменяя их положения относительно друг друга и величин скоростей.

Из вычислений было установлено, что эффективный диаметр движения шара 1 пересекает шар 2, находящийся в состоянии покоя при углах от 6° до 180° . Т. е. данный параметр в этом примере не имеет существенного влияния.

2. Радиусы шаров. Изменение этого параметра при неизменности остальных ничего не дает, шары сталкиваются в любом случае.

3. Масса. Влияет на импульс при столкновении и дальнейшую скорость, но на саму возможность столкновения не влияет.

4. Величина векторов скорости. Будем поочередно менять величину векторов скорости сначала на одном из шаров, а затем на другом.

Создадим множество ситуаций и рассчитаем возможные пределы изменения значения скорости, при которых шары продолжают сталкиваться (рисунок 2).

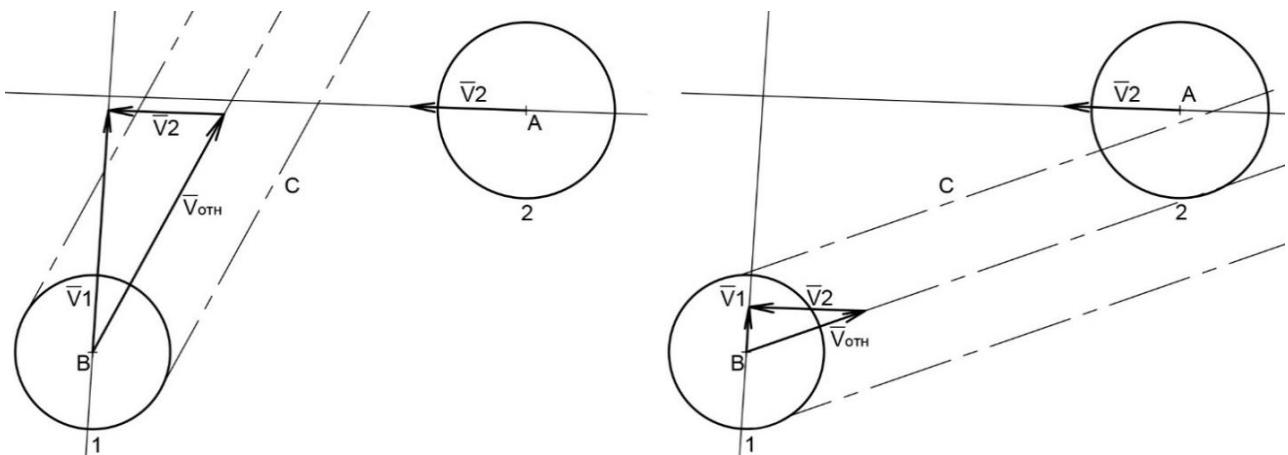


Рисунок 2 – Изменение длины вектора скорости V_1 у первого шара (только во втором случае происходит столкновение)

Таблица 1 – Данные по изменению параметров величин векторов скоростей

№ шара	Пример изначальной величины векторов, м/с	Мах величина векторов при увеличении изначальной, м/с	Min величина векторов при уменьшении изначальной, м/с	То, во сколько раз изменились длины относительно изначальных	Пределы соотношений
1	0,023	0,033	0,005	в 1,4 раз больше в 4,7 раз меньше	От 1:1 до 1:3
2	0,026	0,11	0,016	в 4,5 раз больше в 1,6 раз меньше	

Из таблицы 1 следует, что длины величин векторов скоростей двух шаров должны быть в пределах соотношений от 1:1 до 1:3. И чем ближе они друг к другу по значениям, тем больше вероятность, что произойдет соударение.

Исследование треков релятивистских частиц, полученных в пузырьковой камере [3].

В качестве модели рассмотрим столкновение и распад элементарных частиц в пузырьковой камере. На основании законов сохранения энергии и импульса в релятивистском приближении. Записывая эти законы можно идентифицировать частицу и найти направление ее движения, а также импульс и энергию.

Для более подробного рассмотрения данной темы проведем расчетно-графическую работу по изучению релятивистских квантовых законов сохранения энергии и импульса. Для изучения будем рассматривать чертеж треков релятивистских частиц в пузырьковой камере, помещенной в магнитное поле с известной индукцией.

На рисунке 3 предоставлен чертеж, выполненный по фотографии реакций в пузырьковой камере.

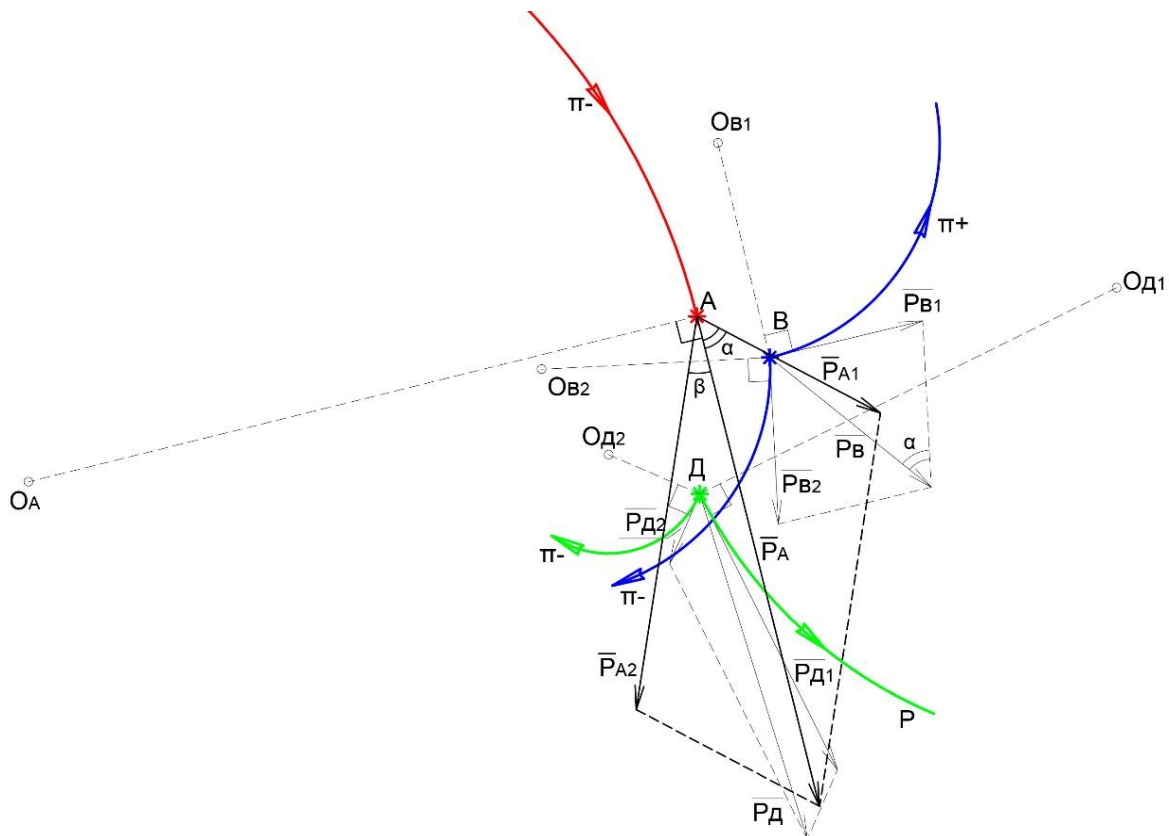
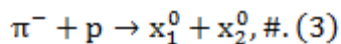
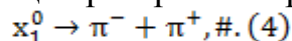


Рисунок 3 – Треки элементарных частиц в пузырьковой камере

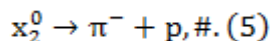
На нем указаны следы только заряженных частиц, трековые звезды отмечены буквами А, В, Д. Следы заряженных частиц идентифицированы. В точке А происходит реакция: на неподвижный протон p (ядро атома водорода) налетает π^- -мезон, в результате образуются две нейтральные частицы (3):



В точке В нейтральная частица претерпевает распад на π^- и π^+ -мезоны (4):



В точке Д частица x_2^0 распадается по схеме (5):



Для определения характеристик элементарных частиц по их трекам приборы (как камера Вильсона, пузырьковая камера и т. д.) помещают в однородное магнитное поле с известной индукцией B . Выполнив определенные расчеты и построения на чертеже можно найти импульс частицы по изменениям радиуса кривизны при движении в магнитном поле.

Следовательно, для начала требуется нахождение радиуса кривизны траектории движения частиц. Его можно найти с помощью выбора трех точек на траектории, их попарного соединения и проведения перпендикуляров из центров этих отрезков (центром кривизны траектории и будет являться точка пересечения этих перпендикуляров).

После нахождения радиусов этих траекторий можно будет вычислить импульсы частиц в точках В и Д (6):

$$p = qBR, \#(6)$$

где q – заряд частицы, B – известная нам индукция поля, R – радиус кривизны траектории.

Для того чтобы измерить угол Ω между импульсами, из точек В и Д проводят векторы $\bar{P}_{В1}$, $\bar{P}_{В2}$ и $\bar{P}_{Д1}$, $\bar{P}_{Д2}$ соответственно так, чтобы они были перпендикулярны радиусам кривизны траекторий проведенных из точек.

Рассмотрим точку А, в которой на неподвижный протон налетает π^- -мезон и в результате образуются две нейтральные частицы в точках В и Д. При этом массу и вектор импульса одной из них мы смогли найти из наблюдений распада в точке В (импульс $\bar{P}_{А1}$). Второй же «суммарный» импульс \bar{P}_A можно найти тем же способом, как и в точках В и Д. При этом угол α между импульсом $\bar{P}_{А1}$ и \bar{P}_A можно измерить из чертежа. Направление импульса $\bar{P}_{А2}$ можно установить графически из треугольника импульсов или же при нахождении угла β .

С помощью характеристик можно будет вычислить массы покоя нейтральных частиц, их скорости, время жизни и энергию.

Заключение

При проведении исследования по изменению параметров на чертежах можно сделать выводы, что радиусы кривизны траектории зависят от массы, скорости и заряда частиц. Радиус становится меньше, если уменьшается масса и скорость этой частицы. Из графической обработки треков можно идентифицировать также название частиц.

Список цитированных источников

1. Савельев, К. В. Механика и молекулярная физика / К. В. Савельев. – М., 1977. – Т. 1. – С. 101–106.
2. Giancoli, D. C. Physics for scientists and engineers with modern physics / D. C. Giancoli. – USA, 1989. – P. 197–201.
3. Лабораторная работа «Изучение проявления релятивистского закона сохранения энергии-импульса при взаимодействии элементарных частиц»: сб. науч.-метод. статей по физике / С. М. Михальчук [и др.]. – М., 1984. – Вып. 2. – С. 103–106.

УДК 004.89

Хацкевич А. С.

Научный руководитель: ст. преподаватель Хацкевич М. В.

ИНДЕКСАЦИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НЕЙРОСЕТЕВЫМ МЕТОДОМ ХЭШИРОВАНИЯ

Целью настоящей работы является разработка системы эффективного поиска изображений в пространстве хэш-функций с использованием глубокого обучения нейронных сетей.

Объект исследования – процесс поиска изображений в больших наборах данных.

Предмет исследования – алгоритмы хэширования, архитектуры глубоких нейронных сетей.

Системы поиска изображений, использующие контекст, широко применяются в настоящее время. Они работают на основе запросов по изображению или семантике. Такие системы применяются при управлении личными фотоколлекциями, для веб-поиска, в медицине и других областях. Автоматический анализ больших наборов изображений без маркировки невозможен без существования эффективных алгоритмов поиска. Также поиск изображений является важной проблемой в области компьютерного зрения из-за увеличения требований к количеству данных для обучения и роста объема самих обрабатываемых фотографий и видео. Данная проблема связана с двусмысленностью образов и разрывом между восприятием человека и техническими характеристиками. Для решения этой проблемы предлагается использовать технологии хэширования данных, что позволяет компактно представлять и быстрее идентифицировать информацию. Предлагается использовать сверточные нейронные сети и автоэнкодер для эффективного поиска изображений с помощью хэш-функций.

Существующие методы обучения на основе хэш-функций для поиска изображений можно разделить на три категории: независимые от данных, зависящие от данных и основанные на обучении. Подходы в первой категории не требуют размеченных данных и могут рассматриваться как методы «обучение без учителя». Во второй категории используется информация о попарных метках для обучения хэш-функций. Третья категория включает методы, которые используют размеченные данные для создания процедуры сопоставления. Глубокое обучение направлено на изучение иерархических особенностей изображений путем создания высокоуровневых признаков. Хотя глубокое обучение дало отличные результаты в задачах компьютерного зрения, его применение в широкомасштабном визуальном поиске на основе хэширования остается вызовом.

Семантическое хэширование – первый подход, где применялись глубокие методы обучения для создания компактных двоичных кодов. Однако сложность модели и высокие требования к вычислительной мощности ограничивают ее использование на практике. Несмотря на обширные исследования, до сих пор не разработан надежный и простой в использовании метод сопоставления изображения и его хэш-значения для использования в системах поиска изображений.

Для сравнения «схожести» объектов внутри одного класса предлагается использовать бинарное хэширование и глубокое обучение. В отличие от существующих методов обучения бинарных кодов, здесь используется глубокая нейронная сеть, которая связывает входное изображение с бинарным вектором через нелинейные преобразования. При разработке и обучении модели учитываются следующие ограничения: минимизация потери информации при сопоставлении исходного вектора признаков с вычисленным бинарным кодом, равномерное распределение битов в итоговом двоичном коде и почти нулевая корреляция у дифференциальных битов двоичного кода.

Цель функции обучения заключается в максимизации различий между классами и минимизации различий внутри классов при вычислении двоичных кодов. В сверточной нейронной сети используется локальная корреляция, где каждый фильтр реплицируется по всему визуальному полю. Эти реплицированные единицы образуют карту признаков. Структура сети для вычисления хэш-кода изображения включает предварительно обученные сверточные слои VGG-19, дескриптор, энкодер и декодер. Декодер восстанавливает информацию с входа энкодера, чтобы хэш-код был невозможно точно скопировать. Процедура поиска изображений на основе контента может быть ускорена с использованием хеш-таблицы. Также для получения надежных результатов поиска изображений необходима правильная функция потерь. Таким образом, основной целью обучения является определение функции, которая проецирует дескриптор изображения в двоичное хэш-пространство и сохраняет семантическую согласованность между похожими изображениями. Для улучшения результатов на вход нейронной сети также поступают данные с верхних слоев и хэш-код изображения-запроса.

В отличие от данной модели, некоторые современные методы используют представление хеш-функции как линейную проекцию изображения. Одна из важных проблем заключается в том, что q -мерные двоичные метки способны представлять только 2^q различных точек данных, тогда как общее число точек данных превысит это значение, что приведет к тому, что некоторые точки будут отображаться на одну и ту же двоичную метку.

Для изучения оптимальных параметров модели необходимо минимизировать функцию потерь. В случае многоклассовой классификации часто применяется отрицательное логарифмическое правдоподобие в качестве функции потерь. В данном случае нейронная сеть обучалась с помощью многокомпонентной логистической регрессии, мини-пакетного градиентного спуска с импульсом (на основе обратного распространения). Размер пакета составлял 256, импульс был равен 0,8.

Эксперименты проводились с использованием стандартной сверточной нейронной сети VGG19, состоящей из 19 слоев, включающих каскады свертки и подвыборки. Сеть начинается с двух каскадов свертки-свертки-подвыборки,

затем следуют три каскада свертки-свертки-свертка-подвыборка. Размер узла свертки во всех слоях равен 3×3 . При подвыборке используется метод Max Pooling. Этот метод был сравнен с несколькими другими подходами на наборе данных CIFAR100, содержащим 100 категорий объектов, каждая из которых состоит из 6000 изображений. Всего в наборе 600000 изображений, из которых 50000 использовались для обучения и 10000 для тестирования. Результаты тестирования представлены в таблице 1 для набора хэш-функций длиной 32, 48, 64 и 128 бит.

Таблица 1 – Сравнение с известными методами (в %)

Длина хэш-функции (бит)	32	48	64	128
Предложенный метод	43,26	47,15	51,25	62,85
КМН [1]	32,05	33,20	35,72	60,04
Spherical [2]	23,95	30,65	34,03	49,55
SH [3]	26,86	24,65	23,26	56,85
РСАН [4]	28,46	24,85	21,46	56,25
LSH [5]	20,61	25,66	31,61	37,56
ДН [6]	43,52	44,56	46,59	66,95

Результаты экспериментов показывают, что предлагаемый метод способен извлекать только семантическую информацию, что эффективно для небольших изменений в цветовой и текстурной информации. На небольших наборах данных метод не различает изображения с разной цветовой информацией, но схожим семантическим описанием. Извлечение функций сверточной нейронной сетью на ПК с графическим процессором Geforce GTX 1050 и 8 Гб ОЗУ занимает примерно 60 миллисекунд. Поиск осуществляется на CPU с реализацией на C/C++.

Вычисление Евклидовой метрики между двумя 4096-мерными векторами занимает 109,767 миллисекунд. Вычисление расстояния Хэмминга между двумя 128-битными двоичными кодами занимает 0,113 миллисекунды. Таким образом, предложенный подход к поиску изображений, основанный на хэшировании, в тысячу раз быстрее, чем традиционный поиск с 4096-мерными функциями.

В данной статье описывается подход к отображению изображений с использованием хэш-функций для поиска изображений по семантической информации. Разработана система поиска изображений, которая комбинирует сверточные нейронные сети и автоэнкодеры. Проведенные эксперименты показали, что модификация глубоких сверточных нейронных сетей может значительно повысить точность поиска изображений.

Список цитированных источников

1. Wang, J. Learning hash codes with listwise supervision / J. Wang [et al.] // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. – 2013. – P. 3032–3039.
2. Learning hash functions using column generation [Electronic resource]. / X. Li [et al.]. – Access mode: <https://arxiv.org/pdf/1303.0339.pdf>. – Date of access: 01.06.2024.
3. Li, J. Fast image search with deep convolutional neuralnetworks and efficient hashing codes / J.Y. Li, J.H. Li // 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD). – 2015. – Zhangjiajie: IEEE, 2015. – P. 1285–1290.
4. Liong, V. E. Deep hashing for compact binary codes learning / V. E. Liong [et al.] // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2015. – P. 2475–2483.

5. Lv, Y. Asymmetric cyclical hashing for large scale image retrieval / Y. Lv [et al.] // IEEE Transactions on Multimedia. – 2015. – Vol. 17, No. 8. – P. 1225–1235.

6. Zheng, L. Packing and padding: Coupled multi-index for accurate image retrieval / L. Zheng [et al.] // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2014. – P. 1939–1946.

УДК 631.331

Чиж М. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Николаюк-Ртищева М. В.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ

Интеграция цифровых технологий в процессы автоматизации сельскохозяйственного оборудования представляет собой одно из значимых направлений повышения эффективности аграрного сектора. Такое внедрение позволяет усовершенствовать традиционные методы ведения современного сельского хозяйства. Цифровые технологии помогают повысить производительность, качество, эффективность и безопасность сельскохозяйственной продукции, а также снизить экологическую нагрузку и затраты. Цифровые технологии также способствуют развитию сельских территорий, созданию новых рабочих мест, повышению доходов и благосостояния сельских жителей.

Самым распространённым видом сельскохозяйственной техники является сеялка – агрегат, присоединяемый к трактору, который используется для посева зерновых культур и выполняющий роль дозирующего отбора семян и различных удобрений при посеве. Пример зерновой сеялки представлен на рисунке 1. За процессом высева следит оператор. Он выставляет и контролирует норму высева, отслеживает всю информацию, которая поступает с оборудования. Все эти действия отнимают много времени и не дают оператору сосредоточиться на непосредственном управлении машиной. Поэтому возникла потребность в разработке модуля, который будет настраивать норму высева, корректировать ее во время движения, собирать данные, отслеживать географическое положение и позволит оператору избежать необходимости постоянного внимания к процессу.

Таким образом, разработка системы мониторинга и управления зерновой сеялкой является актуальной задачей и приведет к повышению производительности, оптимизации ресурсов и улучшению методов ведения сельского хозяйства.

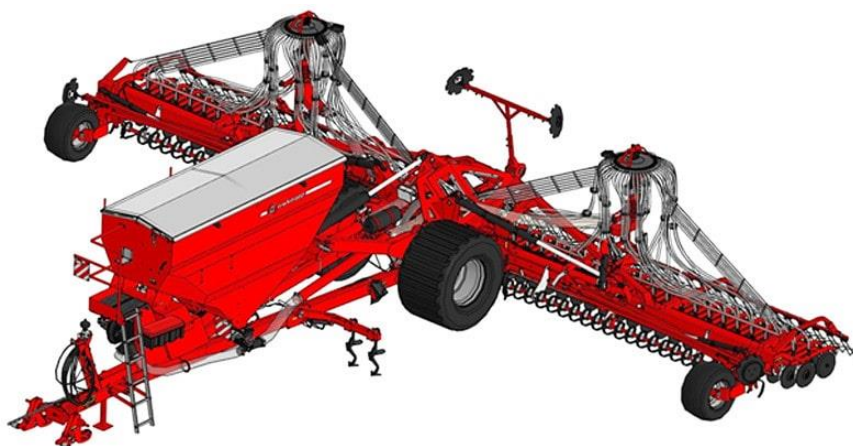


Рисунок 1 – Зерновая сеялка в разложенном состоянии

Современные зерновые сеялки в составе имеют следующие компоненты:

- Бункер хранения, представляющий из себя, ёмкость, разделенную на отсек для размещения высеваемой крупы и отсек для вносимых удобрений.
- Систему дозирования, которая обеспечивает соблюдения нормы высева (количество зерна в килограммах, которым необходимо засеять участок земли площадью в один гектар).
- Сошники – элемент зерновой сеялки, служащий для образования в почве бороздки, направления в неё семян и засыпания их почвой.
- Семяпроводы, представляющие собой систему транспортировки семян от системы дозирования к сошникам при помощи вентилятора.
- Систему внесения удобрений, которая служит для управления нормой внесения удобрений в почву.
- Система контроля процессом, которая позволяет следить за состоянием различных элементов сеялки в момент её работы. В процессе высева необходимо знать уровень зерна в бункере, работает ли в данный момент вентилятор, в сложенном ли состоянии находится сеялка. Такой подробный мониторинг обусловлен вероятностью холостой работы сеялки.
- Клапаны технологической колеи. Технологическая колея – это две незасеянные маршрутные дорожки, по которым при уходе за посевами (опрыскивание, подкормка) будут проходить колеса трактора и сельскохозяйственной машины. Образование такой колеи обеспечивается перекрытием доставки семян к некоторым сошникам. Ширина колеи устанавливается индивидуально под каждую зерновую культуру и зависит от размеров техники, которая будет обрабатывать поле. Пример технологической колеи представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Трактор, передвигающийся по технологической колее

Процесс работы сеялки может быть описан следующим алгоритмом. Крупа, находящаяся в бункере, поступает на катушку. Катушка позволяет разбить просыпаемое зерно на порции, что позволяет управлять нормой высева с большей точностью. Из-за отличия в размере между зерновыми культурами и отличия в норме высева существуют катушки с определенными размерами ячеек. Вращаясь, катушка должна контролировать количество просыпаемой крупы. Так как скорость движения трактора может меняться в процессе высева, скорость вращения должна изменяться пропорционально. Но в нынешних сеялках вращение

катушек приводится в действие механизмом, на точность которого сильно влияет тряска агрегата, а норма высева никак не зависит от скорости движения. Такой подход имеет большой процент погрешности. А от качества такой работы зависит урожайность сельскохозяйственных культур. Далее при помощи воздуходувки крупа высыпается в землю. Внесение удобрений проводится по такому же алгоритму. Весь процесс высева или внесения удобрений должен отображаться на терминалах водителя, что должно давать возможность контролировать появление ошибок и вовремя предпринимать необходимые действия по их устранению.

Таким образом, система мониторинга и управления работой зерновой сеялки должна обеспечивать постоянный и бесперебойный сбор данных о наполненности бункера, оборотах высевающей катушки, положении агрегата и отправку их на терминал, в качестве которого выступает планшет.

Для выполнения функций управления работой сеялки должен быть реализован следующий функционал:

- Соблюдение нормы высева различных зерновых, зернобобовых культур, трав, мелкосемянных культур в зависимости от скорости движения сеялки, контроля рабочих параметров технологического процесса сеялки.

- Управление открытием и закрытием клапанов технологической колеи в соответствии с заданным тактом.

- Управление внесением удобрений с соблюдением необходимой дозировки и поддержание нормы в зависимости от скорости движения сеялки.

- Реализация модуля калибровки системы дозирования зерна. Калибровка должна проводиться перед началом высева для проверки соблюдения нормы.

- Считывание показаний системы для использования в алгоритмах работы сеялки и для отправки этих показателей на терминал управления.

Для выполнения функций мониторинга работы сеялки должен быть реализован следующий функционал:

- Выбор типа машины и агрегата. В начале работы оператор должен выбрать тип машины и агрегата. Машина представляет собой трактор разной модификации, отличающейся по таким параметрам, как высота антенны, расстояние от задней оси (центра) до антенны, смещение антенны влево/вправо, от задней оси (центра) до сцепного устройства и колёсная база. Агрегат представляет собой зерновую сеялку с такими параметрами, как ширина агрегата, ширина внесения, количество моторов, бункеров, наличие датчиков. От выбора машины и агрегата зависит начальная конфигурация приложения.

- Норма высева. Перед началом работы оператору нужно внести норму высева на гектар, тип культуры, тип катушки, чтобы модуль при высеве, отталкиваясь от скорости движения машины, самостоятельно настраивал норму высева на данном участке поля. Перед настройкой высева оператор должен выбрать тип катушки и поставить их на штатное место.

- Калибровка. Калибровка проводится после настройки нормы высева. Оператор будет настраивать скорость серводвигателей, норму высева и массу семян. Далее посредством кнопки оператор будет проводить высев в течение 10 секунд, взвешивать просеянные семена и вносить массу в модуль. Модуль должен будет рассчитать отклонение полученных результатов. Если отклонение

составляет не более 1 %, будет считаться, что модуль работает корректно. Калибровка будет проводиться на каждый серводвигатель отдельно. Количество серводвигателей зависит от выбора агрегата.

- Настройка технологической колеи. Необходимый ритм создания технологической колеи получается из расстояния между колеями и ширины захвата сеялки.

- Мониторинг данных. Оператор должен в реальном времени отслеживать такие данные, как заполненность бункера, норма высева, скорость трактора, положение агрегата, технологическая колея.

Структура системы, осуществляющая вышеописанные функции мониторинга и управления зерновой сеялкой, может быть описана схемой, представленной на рисунке 3.

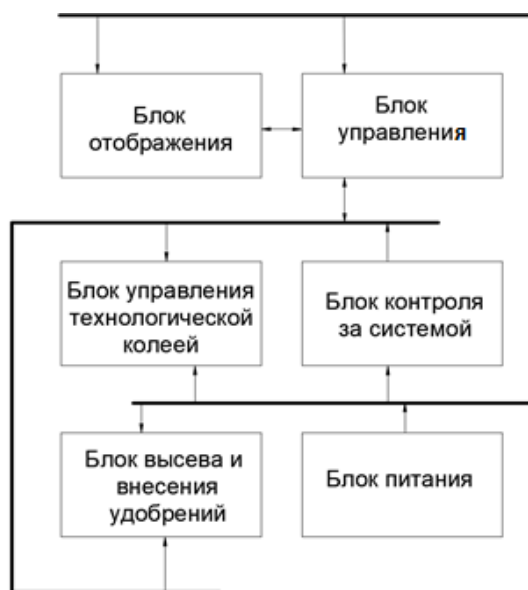


Рисунок 3 – Структура системы мониторинга и управления сеялкой

Вся отслеживаемые параметры работы сеялки передаются на блок отображения, который представляет собой один планшет, устанавливаемый в кабине оператора сеялки, с помощью которого он сможет осуществлять управление агрегатом. На дисплее отображается различная информация, собираемая блоком контроля. К ней относятся:

- количество рассчитанных тактов технологической колеи (информация о шагах движения сеялки, которая помогает оптимизировать процесс высева);
- скорость вращения высевающих катушек (параметр показывает, с какой скоростью вращаются катушки, которые распределяют семена);
- оповещение об ошибках, возникающих во время высева (любые проблемы или неисправности, возникающие при работе сеялки, для оперативного реагирования водителем).

В целом единая система мониторинга и управления для зерновой сеялки позволит автоматизировать процессы, увеличить производительность, улучшить точность и качество посева, а также упростить управление сеялкой. Это поможет сельскохозяйственным предприятиям оптимизировать использование ресурсов и достичь лучших результатов в сельском хозяйстве.

ПРОПУСКНАЯ СИСТЕМА «FACEID» НА БАЗЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Для обеспечения удобства пользователей, повышения общей пропускной способности автоматизированной проверки личности при использовании инновационных систем управления доступом – точность и надёжность должны сочетаться с высокой скоростью и производительностью обработки данных.

Использование оптимальных алгоритмов и аппаратной инфраструктуры является ключевым фактором при создании надежного и эффективного решения авторизации субъекта по антропометрическим параметрам лица. Данный аспект учтён в разработанной пропускной системе FaceID, которая позволяет автоматически идентифицировать и верифицировать человека по уникальным особенностям человеческого лица (faceprint) [1]. Основной принцип работы заключается в распознавание облика личности в обзоре веб-камеры и последующей сверкой при помощи нейронной сети с прототипами, находящимися в базе данных. Если проверяемый субъект имеется в списке с разрешённым доступом, то отправляется сигнал на микроконтроллер, который в свою очередь открывает турникет либо любой другой пропускной элемент.

Для программной части описываемой системы контроля доступа использован язык программирования Python, который отличается от других языков высокого уровня своей простотой и читабельностью синтаксиса [2]. Python широко применяется для обработки данных, машинного обучения и автоматизации решения различных задач в виде приложений, благодаря богатому набору библиотек, которые содержат широкий спектр инструментов для работы с файлами, базами данных и др. Выбор Python обоснован его способностью ускорить процесс разработки и обеспечить высокую производительность и надёжность программного обеспечения [3].

Для удобного взаимодействия администратора системы с программной компонентой автором разработан пользовательский интерфейс с использованием компонентов библиотеки Tkinter [4]. Данная библиотека предоставляет набор элементов, таких как кнопки, метки, текстовые поля и другие виджеты, которые предназначены для отображения функциональной информации в удобном виде. Таким образом, при запуске системы FaceID организован интерактивный выбор предоставленных возможностей: инициировать распознавание лиц, добавить нового человека в базу данных, вывести записи посещений с применением различных фильтров и др. Примеры интерактивных окон разработанного графического интерфейса пропускной системы FaceID представлены на рисунке 1.

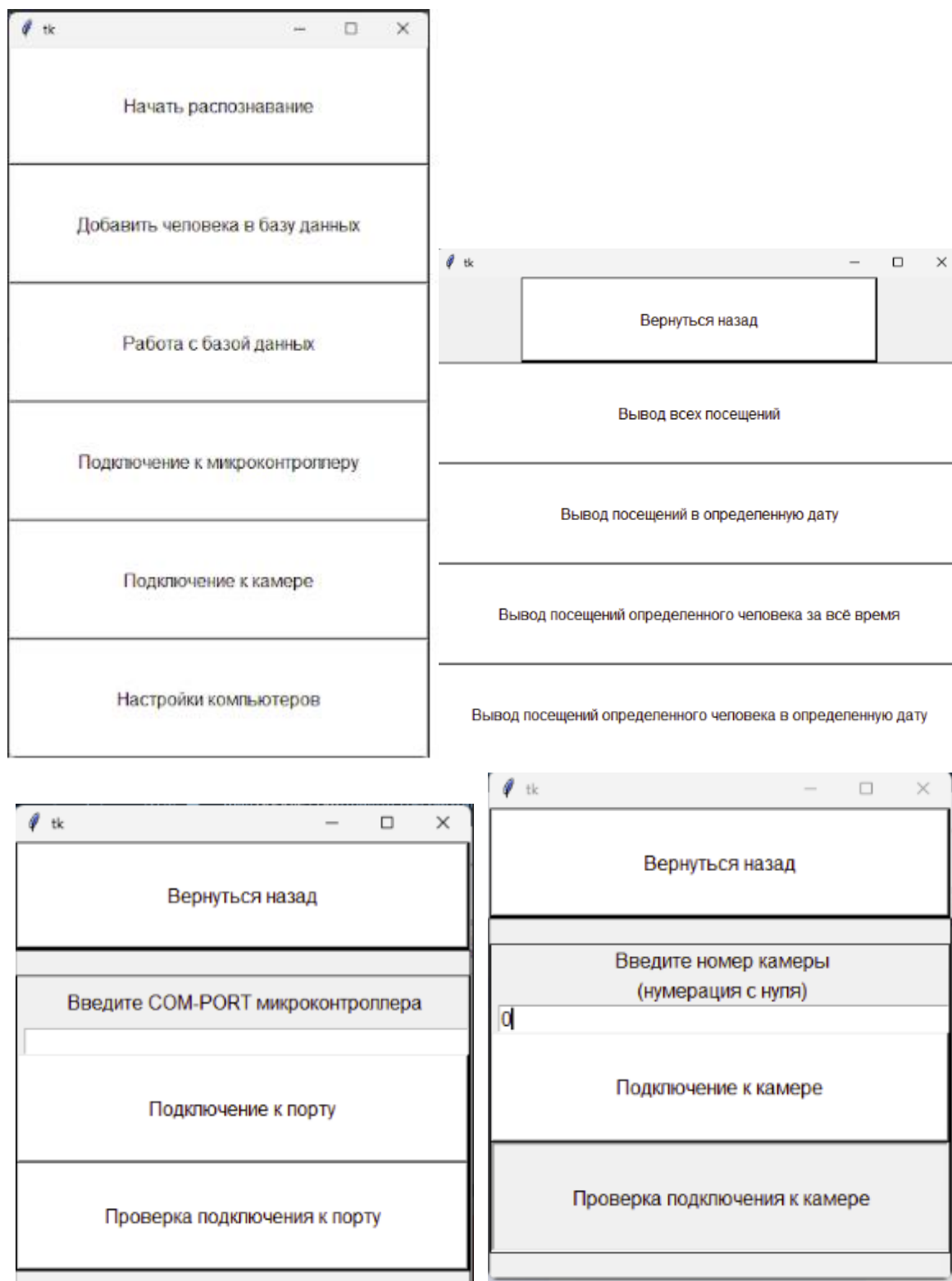


Рисунок 1 – Интерактивные окна с элементами графического интерфейса пропускной системы «FaceID»

Основной функцией пропускной системы FaceID является автоматическая проверка личности, которая активируется при нажатии на соответствующую кнопку «Начать распознавание». При помощи библиотеки компьютерного зрения OpenCV программа запускает процесс считывания лицевой области, то есть камера производит захват изображения, на котором выделяется и идентифицируется образ лица человека [5]. Дальнейшая обработка осуществляется

при помощи библиотеки с открытым исходным кодом – Face recognition, которая предоставляет мощные алгоритмы машинного обучения [6]. Подключенная командой таким образом нейронная сеть осуществляет извлечение признаков: выделяет ключевые точки и особенности лица на изображения (расположение глаз, носа, рта, бровей и т. д.). Далее происходит составление вектора, состоящего из определённого числа узловых точек (меток). Полученная математическая модель антропометрических параметров лица представляет собой высоко-размерный вектор, состоящий из числовых значений для всех идентифицируемых пользователей – энкодинг (англ. encoding) (рисунок 2). В описываемой пропускной системе FaceID каждый вектор состоит из 128 чисел, которые отражают уникальные черты лица.

ID	Encoding
1	-0.18815842270851135 0.09512518346309662 -0.03671333193778992 -0.07960356771945953 -0.0726285427808761...
2	-0.01082842517644167 0.033074166625738144 0.08186470717191696 -0.06931694597005844 -0.1477660834789276...
3	-0.1388516128063202 0.059729959815740585 -0.0353228822350502 -0.1048961877822876 -0.07861531525850296 ...
4	-0.01527570839971304 0.02474280819296837 -0.001216293778270483 -0.06456342339515686 -0.135168403387069...
5	-0.10196173191070557 0.061823032796382904 -0.008151581510901451 -0.0639943853020668 -0.129616975784301...
6	-0.1035909578204155 -0.023445017635822296 0.06473890691995621 -0.02487175539135933 -0.0289434846490621...
7	-0.09690961986780167 -0.003498048521578312 -0.0726567730307579 0.009773638099431992 -0.063301026821136...
8	-0.08242445439100266 0.0657120868563652 0.07244657725095749 -0.055286385118961334 -0.14252673089504242...
9	-0.09142842143774033 0.09949466586112976 0.018887944519519806 -0.032107435166835785 -0.077031277120111337 0.0027728755958378315 0.03808017447590828 -0.15781700611114502 0.16053761541843414 -0.07732164114713669 0.25085920095443726 0.03544300049543381 -0.29822659492492676 -0.13047945499420166 0.0526396781206131 0.11818159371614456 -0.04549051448702812 -0.15156298875808716 -0.1281527578830719 0.028085345402359962 0.09984105080366135 0.021915405988693237 0.027407202869653702 0.08350665867328644 -0.08144118636846542 -0.3988478183746338 -0.040950924158096313 -0.02321872115135193 -0.002187661826610565 -0.054184604436159134 -0.04892706125974655 0.08438844978809357 -0.17304575443267822 -0.0351439043879509 -0.026104453951120377 0.0823717713356018 -0.08344629406929016 -0.050330013036727905 0.16905584931373596 0.041693590581417084 -0.21142275631427765 -0.013949237763881683 -0.022881826385855675 0.3020324110984802 0.16877250373363495 -0.042103420943021774 0.07796183973550797 -0.04986612871289253 0.032639991492033005 -0.307260125875473 0.03495684638619423 0.15230906009674072 0.06968563795089722 0.030593017116189003 0.09347735345363617 -0.1520117074251175 -0.0011802958324551582 0.0597473680973053 -0.2389141023159027 0.05260564759373665 0.09273584187030792 -0.10279471427202225 -0.06555135548114777 -0.15312589704990387 0.17256882786750793 0.11124909669160843 -0.09987647831439972 -0.08646021783351898 0.08903209120035172 -0.1761641502380371 -0.03566088527441025 0.010610838420689106 -0.16298045217990875 -0.23328714072704315 -0.3104991316795349 0.055508553981781006 0.3506084680557251 0.2255025953054428 -0.1731249988079071 0.016303839161992073 -0.08388304710388184 0.04570024833083153 0.09769003093242645 -0.04767284542322159 -0.026360509917140007 0.022158358246088028 -0.14389897882938385 0.08255460113286972 0.16514337062835693 -0.014956647530198097 -0.0033669588156044483 0.29542168974876404 0.03108486533164978 -0.029937170445919037 0.05183696746826172 0.029254337772727013 -0.01773049868643284 -0.0017600562423467636 -0.16702041029930115 0.07341237366199493 -0.04146115109324455 -0.16382132470607758 0.08678918331861496 0.038979679346084595 -0.18458020687103271 0.12958160042762756 0.02670053206384182 0.02809121087193489 0.032872047275304794 -0.004342074505984783 -0.22351787984371185 -0.07780155539512634 0.1176849827170372 -0.23692388832569122 0.19044628739356995 0.19030062854290009 0.10342103242874146 0.12094247341156006 0.03797603398561478 0.07053826749324799 -0.06391850858926773 -0.044071316719055176 -0.12339869886636734 -0.03397122770547867 0.07661090791225433 0.005275944713503122 0.023700110614299774 0.05442942678928375
10	-0.08819081634283066 0.03013247810304165 0.1115373969078064 -0.02822291851043701 -0.14115434885025024

Рисунок 2 – Вид математических моделей антропометрических параметров лица

Подтверждение личности происходит путем сопоставления имеющейся в базе данных цифровой информацией (записями координат специфических

лицевых точек) со связанными с соответствующими пользователями числовыми кодами.

Дополнительная функциональная возможность пропускной системы FaceID – это работа с информационным хранилищем: запись, хранение, чтение сведений о времени и датах входа/выхода. В разработке используется встроенная в Python база данных – Sqlite3, которая не требует настройки или управления сервером и отличается удобством интеграции с программным обеспечением [6]. После нажатия на кнопку «Добавить человека в базу данных», программа предлагает ввести ФИО человека, после чего делает фото и создает соответствующую запись, записывает путь к расположению фотографии, автоматически присваивая уникальный идентификатор новому пользователю. При нажатии на кнопку «Работа с базой данных» открывается возможность вывода посещения людей с четырьмя фильтрами: посещения всех людей за всё время, посещения людей в определенный день, посещение определенного человека за всё время и посещение определенного человека в определенную дату.

Разработанная пропускная система FaceID может применяться в различных сфера деятельности.

1. Корпоративный сектор: в офисных зданиях и обособленных территориях – обеспечение безопасного и быстрого доступа сотрудников к рабочим местам, автоматизация учета рабочего времени и контроль присутствия сотрудников.

2. Образовательные учреждения: в школах и университетах – контроль доступа учащихся и преподавателей к учебным корпусам, библиотекам и лабораториям; автоматизация процесса учета посещаемости и повышения безопасности на образовательной территории; в общежитиях и студенческие городках – обеспечение безопасного доступа к местам проживания и учебы; онлайн-опросы и проверки знаний – управление доступом к материалам с ограниченным просмотром, обеспечение противодействия посредническому тестированию, когда во время прохождения теста экзаменуемым вместо него на вопросы отвечает другой человек, что является формой обмана или мошенничества.

3. Гостиничный и развлекательный бизнес: в гостиницах и отелях – упрощение процедуры регистрации и доступа к номерам для гостей, повышение уровня безопасности и удобства за счет бесконтактной системы доступа; в спортивных и культурных мероприятиях – контроль доступа к стадионам, концертным залам и театрам, увеличение скорости пропуска зрителей и снижение очередей.

4. Торговые центры и розничные магазины: управление доступом к служебным помещениям – обеспечение безопасности сотрудников и предотвращение несанкционированного доступа к складским и административным зонам; программы лояльности – идентификация клиентов для предоставления персонализированных предложений и скидок.

5. Транспорт и логистика: в аэропортах и вокзалах – автоматизация процесса проверки пассажиров и обеспечения безопасности на транспортных узлах, увеличение скорости прохождения контрольно-пропускных пунктов; на складских комплексах и логистических центрах – управление доступом сотрудников к зонам хранения и обработки грузов, повышение безопасности и эффективности логистических операций.

6. Медицинские учреждения: в больницах и поликлиниках – контроль доступа к лечебным и административным зонам, повышение безопасности пациентов и персонала, управление доступом к медицинской документации и оборудованию.

7. Жилые комплексы и частные владения: в многоэтажных домах – обеспечение безопасного и удобного доступа жильцов к своим квартирам и общественным зонам, управление доступом посетителей и сервисных служб; частные дома и коттеджи, интеграция с системами «умного дома» для автоматического управления доступом и повышения безопасности.

8. Финансовый сектор: в банках и финансовых учреждениях – контроль доступа сотрудников и клиентов к банкоматам, сейфам и др., обеспечение безопасного доступа к финансовым операциям и документам.

Заключение

Разработанная пропускная система FaceID представляет собой эффективное решение обеспечения безопасности и управления доступом посредством автоматизированной идентификации пользователей по антропометрическим параметрам лица. Благодаря использованию технологий компьютерного зрения (OpenCV), нейронных сетей (Face recognition), и базы данных (Sqlite3), описанная в статье система контроля доступа FaceID позволяет осуществлять быструю обработку изображений и аутентификацию пользователей, достигает достаточно высокой точности распознавания лиц, а также обуславливает надежное хранение данных пользователей и их лицевых характеристик, что делает систему стабильной и устойчивой к сбоям.

Список цитированных источников

1. Face_recognition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/ageitgey/face_recognition. – Дата доступа: 02.10.2023.

2. Грокам алгоритмы. Иллюстрированное пособие для программистов и любопытствующих. – СПб. : Питер, 2017. – 288 с.

3. Шейко, А. А. Разработка пропускной системы «FaceId» на основе технологий распознавания лиц / А. А. Шейко // Управление информационными ресурсами : материалы XX Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 29 мар. 2024 г. / Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь ; редкол.: В. Г. Швайко [и др.]. – Минск, 2024. – С. 530–531.

4. Tkinter – Python interface to Tcl/Tk [Электронный ресурс]. – Режим доступа: 03.02.2024.

5. OpenCV modules [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.opencv.org/4.10.0/>. – Дата доступа: 20.11.2023.

6. Face Recognition with OpenCV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.opencv.org/4.x/da/d60/tutorial_face_main.html. – Дата доступа: 30.11.2023.

7. Sqlite3 — DB-API 2.0 interface for SQLite databases [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.python.org/3/library/sqlite3.html>. – Дата доступа: 10.12.2023.

**ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И
ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО
ТРАНСПОРТА**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ СБОРОЧНЫХ РАБОТ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ЗАМЫКАЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ СБОРОЧНЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ КОМПЕНСАТОРАМИ РАЗНОЙ ТОЛЩИНЫ

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 сборочных работ при формировании размера компенсатора;

3) в величину компенсации кроме допусков составляющих звеньев сборочной конструкторской размерной цепи включается допуск компенсатора и погрешности сборочных работ [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].

Толщина 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 толщина выбранного компенсатора равна размеру измеренного места, то после окончательной сборки изделия с таким компенсатором замыкающее звено будет равно размеру эталона. В противном случае, отклонение толщины компенсатора от размера указанного места приведет к такому же по величине отклонению замыкающего звена от эталона. При описанном методе определения толщины 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 толщины 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 толщины 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 толщины 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 толщину 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 $\delta_{уэ}$, вызванная деформацией стыков эталона и его возможным перекосом при предварительной сборке; погрешность измерения места под компенсатор $\delta_{и}$, 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 толщины выбранного 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 достижение 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 -того звена конструкторской размерной цепи; m – число звеньев конструкторской размерной цепи (кроме компенсатора).

Из анализа технологической размерной цепи следует, что замыкающее звено конструкторской размерной цепи будет гарантированно попадать в пределы заданного для него допуска TA_A , 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

$$TA_{\Delta} \geq \sqrt{\delta_{\text{э}}^2 + \delta_{\text{уэ}}^2 + \delta_{\text{и}}^2 + \delta_{\text{к}}^2 + \delta_{\text{б}}^2}. \quad (2)$$

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 $\delta_{\text{б}}$, 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 ($\delta_{\text{вmax}} = S$). 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 (2) преобразуется в равенство

$$S = \sqrt{TA_{\Delta}^2 - \delta_{\text{э}}^2 - \delta_{\text{уэ}}^2 - \delta_{\text{и}}^2 - \delta_{\text{к}}^2}. \quad (3)$$

Число компенсаторов N в комплекте для каждого экземпляра изделия (число ступеней компенсации) определяется делением величины компенсации V на ступень компенсации S .

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 %.

Условие (2) можно использовать для определения рациональных значений погрешностей сборочных работ: изготовления материального эталона замыкающего звена; измерения местоположения компенсатора; установки эталона; изготовления компенсатора.

Погрешность достоверного измерения полости под компенсатор должна позволять исключить выбор компенсатора, отличающегося по толщине от размера полости более чем на одну ступень компенсации. Следовательно, взаимосвязь между значениями $\delta_{\text{и}}$ и S , должна быть подобна взаимосвязи допустимой погрешности измерения и допуска контролируемого параметра. Обычно ступень компенсации имеет значение от нескольких сотых до нескольких десятых долей миллиметра, что при размере места под компенсатор 3...5 мм соответствует допускам грубее 9 качества. При этом, в соответствии с рекомендациями [4] и ГОСТ 8.051-81, допустимая погрешность измерения не должна превышать одной пятой части от допуска контролируемого параметра. Тогда правомерно соотношение

$$\delta_{\text{и}} \leq 0,2 \cdot S. \quad (4)$$

После преобразований формулы (3) с учетом соотношения (4) получим выражение для расчета числа ступеней компенсации

$$N = \frac{V}{S} = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j^2}}{0,98 \sqrt{(TA_{\Delta}^2 - \delta_{\vartheta}^2 - \delta_{y\vartheta}^2 - \delta_{\kappa}^2)}}. \quad (5)$$

Погрешность размера эталона замыкающего звена A_{Δ} может быть принята равной технологическому допуску этого размера. Так как количество требуемых эталонов замыкающего звена A_{Δ} для изделия определенной конструкции невелико, то их без существенных затрат можно изготовить с максимально возможной на данном предприятии точностью (обычно с точностью размера по 6...7 квалитетам).

Погрешность установки эталона $\delta_{y\vartheta}$ следует рассчитывать на основе геометрических схем его возможных перекосов в собираемом изделии. При исключении возможности перекосов эталона погрешность его установки может быть принята равной большому из двух параметров: либо погрешности формы установочной поверхности эталона; либо параметру R_z шероховатости установочной поверхности эталона.

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 / 5-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2020. – 512.
2. Солонин, И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин. – М. : Машиностроение, 1980 – 110 с.
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. – М. : Машиностроение, 1969 – 358 с.

УДК 621.865.8

Корнещук И. И.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Голуб В. М.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАССАДЫ В КРУПНЫХ МАСШТАБАХ

В статье рассматривается концепт и реализация роботизированной установки для производства рассады в крупных масштабах, подробное описание всех составляющих установки, аргументация выбора материалов, устройств.

Сельскохозяйственные культуры, требующие кропотливого ухода, имеющие длительный срок созревания, чаще всего выращивают с помощью рассады. Делается это для того, чтобы сократить на треть или даже в половину срок выращивания овощей на самом огороде и получить урожай на полтора месяца раньше. Реализация роботизированной установки для производства рассады в крупных масштабах позволит автоматизировать сельское хозяйство, увеличить объем производимой продукции на экспорт, тем самым стимулируя экономику Республики Беларусь, обеспечить полное замену импортируемой рассады.

Роботизированная установка предназначена для создания рассады в больших масштабах. За один час непрерывной работы аппарат может создать около 120-ти единиц продукта, полностью готового к продаже и реализации. За час работы проходят все необходимые этапы: подготовка сырья, его передвижение, упаковывание и систематизирование в партии товара. Установка полностью исключает обязательно наличие человека в этапах производства продукции, тем самым систематизируя и оптимизируя весь процесс, ускоряя его. Все 120 единиц товара-рассады создаются в четкой последовательности без погрешностей, исключая тем самым вероятность образования брака. В следствии чего в разы уменьшаются товарные потери сохраняя прибыль.

Конструкция роботизированной установки является универсальной. За счет незначительного изменения механизма и параметров раскрывается новый потенциал и возможности данной установки. Например, порционная фасовка сыпучих товаров по тарам. Благодаря гибкости функциональных возможностей, роботизированная установка идеально подойдет не только для сельскохозяйственной, но также и для пищевой промышленности. 3D модель роботизированной установки представлена на рисунке 1.

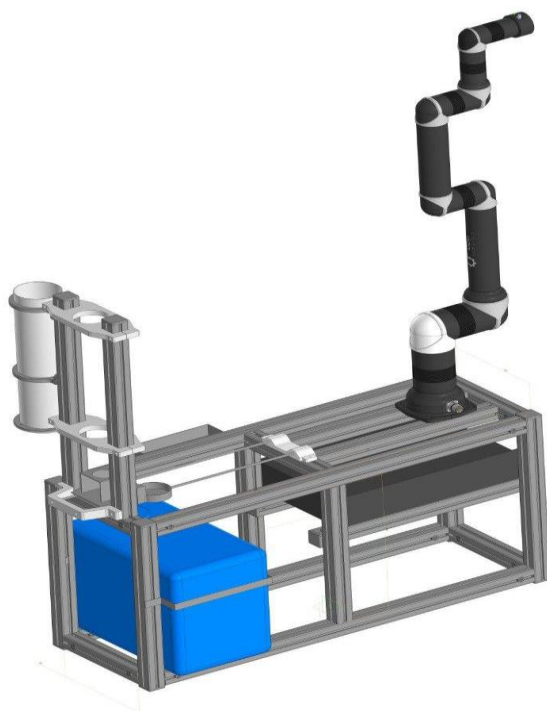


Рисунок 1 – Роботизированная установка

Высокий функционал достигается основными составляющими: робот Rozum Pulse, рама, дополнительные детали.

В начале создания концепта роботизированной установки были поставлены задачи – сделать установку экологичной, эргономичной, практичной, универсальной, научно-технически актуальной, четкой и экономичной.

Экологичность достигается выбором качественного материала и сырья, не имеющего токсичных свойств, что позволяет безопасный контакт с ней.

Эргономичность достигается удобным и четким расположением каждой составляющей установки, что позволяет удобно расположить ее на предприятии и осуществить взаимосвязь с остальными узлами производства.

Практичность вытекает из предыдущего пункта об эргономичности. Однако практичность больше нацелена на удобство пользования установкой человеком.

Универсальность достигается сборно-разборной конструкцией установки и многочисленным функционалом при смене основных параметров и механизмов.

Научно-техническая актуальность обусловлена наличием передовых технологий в установке, в частности, благодаря наличию робота Rozum Pulse.

Четкость осуществляется при правильном программировании и соблюдении необходимых пропорций для производства.

Экономичность возможна благодаря использованию недорогих, но долговечных материалов.

Робот Rozum Pulse является коллаборативным роботом компании Rozum Robotics (Розум Роботикс). Коллаборативный робот – это робот, который может безопасно взаимодействовать напрямую с человеком. Коллаборативные роботы отличаются небольшим весом и размером, ими легко управлять вручную. Благодаря компьютерному зрению и высокоточной системе моторов коллаборативных роботов можно использовать без установки защитных клеток и других дорогостоящих систем безопасности. Изображение робота представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Робот Rozum Pulse

PULSE — это линейка роботов-манипуляторов для автоматизации производственных процессов, а также для использования в исследовательских, образовательных проектах и в сфере развлечений.

Роботы-манипуляторы идеальны для автоматизации повторяющихся задач с незначительными изменениями параметров процесса, таких как: упаковка и складирование, загрузка/разгрузка станков с ЧПУ, нанесение герметика, работа на конвейере, приготовление кофе и коктейлей и пр.

PULSE имеет модульную конструкцию и шесть степеней свободы. На практике это означает, что с помощью PULSE вы можете автоматизировать 95 % всех производственных задач.

Робот оснащен универсальным фланцем международного стандарта ISO 9409-1-50-4-M6. Это значит, что для перепрофилирования робота вам достаточно установить на PULSE любой другой захватный механизм: для работы со сварочным оборудованием, лазерными инструментами, видеокамерами, кофейным оборудованием и т. д.

Роботизированная рука манипулятор PULSE безопасна, не требуют установки дорогостоящего защитного ограждения и может работать в прямом контакте с человеком.

Роботов PULSE можно программировать в режиме ручного обучения. Это делает установку, настройку и отладку робота быстрой и простой даже для пользователя, не имеющего опыта программирования. А для максимального контроля продвинутые пользователи могут использовать возможности API.

Основная рама собрана из универсального алюминиевого профиля, обеспечивающего надежную и легкую конструкцию, отвечающей эргономическим требованиям, для удобной транспортировки всей системы. Чертеж рамы представлен на рисунках 3, 4.

Профиль из алюминия имеет следующие плюсы.

- Продолжительный срок службы. Материал выдерживает высокие нагрузки, не боится температурных перепадов, не покрывается коррозией и не деградирует со временем. Считается, что металл не теряет своих свойств на протяжении 50 и более лет.

- Устойчивость к влаге. Алюминий не боится контакта с водой, паром или агрессивной химией. Именно поэтому его устанавливают в производственных цехах или на предприятиях пищевой продукции.

- Экологическая чистота. При нагревании или под воздействием ультрафиолета металл не выделяет неприятные запахи или канцерогены. Он полностью безопасен для человека.

- Декоративный внешний вид. Профиль выглядит презентабельно, при необходимости его можно покрыть краской.

- Доступная цена. Данный материал считается лучшим в соотношении стоимости и качества.

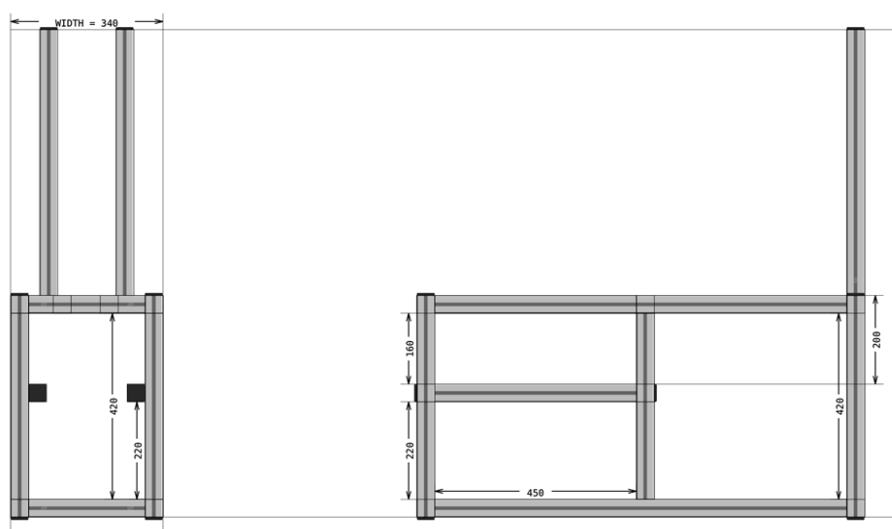


Рисунок 3 – Рама чертеж вида спереди и сбоку

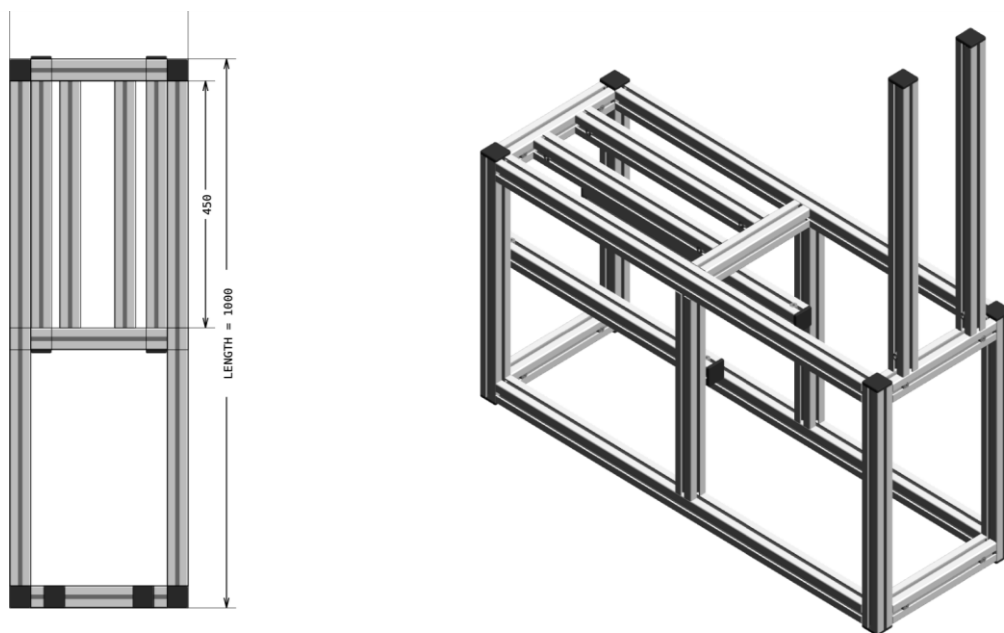


Рисунок 4 – Рама чертеж сверху, изометрический вид

В проекте использовались детали напечатанные на 3D-принтере. Данная технология позволяет изготовить детали сложной формы быстро и не дорого. Все модели были спроектированы в программе Ultimaker Cura. Пример модели детали представлен на рисунке 5.

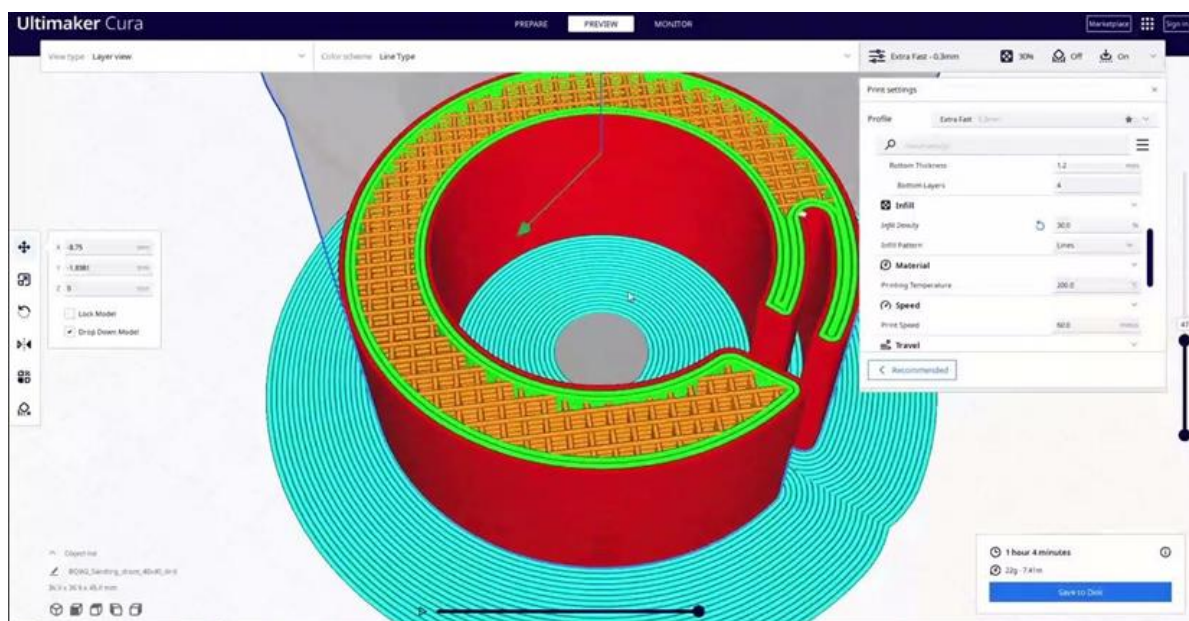


Рисунок 5 – Модель детали

Cura — слайсер 3D-моделей с открытым исходным кодом для 3D-принтеров. Он был создан Дэвидом Брэмом, который позже работал в Ultimaker, компании по производству 3D-принтеров, для обслуживания программного обеспечения.

Использование Ultimaker Cura позволило быстро и качественно спроектировать модели для печати, которые в последствии были использованы для создания роботизированной установки.

Для печати использовался пластик PLA.

PLA – полимолочная кислота, представляет собой термопластичный мономер, полученный из возобновляемых органических источников, таких как кукурузный крахмал или сахарный тростник. Использование ресурсов биомассы отличает производство PLA от производства большинства пластмасс.

У пластика PLA выделяются следующие особенности:

- Плотность – 1,23–1,25 г/см³;
- температура плавления – 170–180° С;
- температура стеклования – 60° С;
- стойкость к температурам до 70° С;
- высокая механическая прочность;
- гибкость и эластичность.

Выводы

На основании ранее приведенных разделов реализации роботизированной установки для производства рассады в крупных масштабах выполнено следующее:

- разработана установка, имеющая высокую производительность (1 час = 120 единицам товара) и отвечающая всем поставленным задачам по обеспечению экологичности, эргономичности, практичности, универсальности, научно-технической актуальности, четкости и экономичности;
- проведено внедрение актуального оборудования в процессе создания роботизированной установки.

Все это позволяет сделать вывод о перспективе использования роботизированной установки для производства рассады в крупных масштабах на всевозможных сельскохозяйственных и пищевых предприятиях.

Список цитированных источников

1. Rozum Robotics: [Электронный ресурс]. <https://rozum.com/ru/robotizirovannaya-ruka/>
2. Ultimaker Cura: [Электронный ресурс]. <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>
3. Modus: [Электронный ресурс]. <https://modusline.by/articles/preimucshestva-alyuminievogo-profilya.html>

УДК 681.523.4

Крачко Д. С.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Савчук С. В.

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ НАВЕСНОЙ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО СРЕДСТВА

При выполнении агротехнического процесса обработки почвы или посева самый значимый параметр – это выполнение технологической операции обработки почвы с поддержанием стабильной одинаковой глубины. Данная задача решается с помощью конструктивных и технологических решений при проектировании элементов навески рабочих органов, а также выбором оптимального способа позиционирования навесного устройства тягового средства.

Если в процессе выполнения операции обработки почвы или посева данное требование не выполняется, то при обработке почвы имеет место преобладание неоднородности почвы по структуре и плотности, а при посеве разноглубинность залегания семенного материала, что напрямую сказывается на сроках всхожести семян. Литературные источники [1] указывают, что в результате несоблюдения вышеуказанного условия, неравномерность хода плуга приводит к повышенным динамическим нагрузкам, при этом неравномерность тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия колеблется в пределах 30 %, а перерасход горючего при этом составляет не менее 5–10 %.

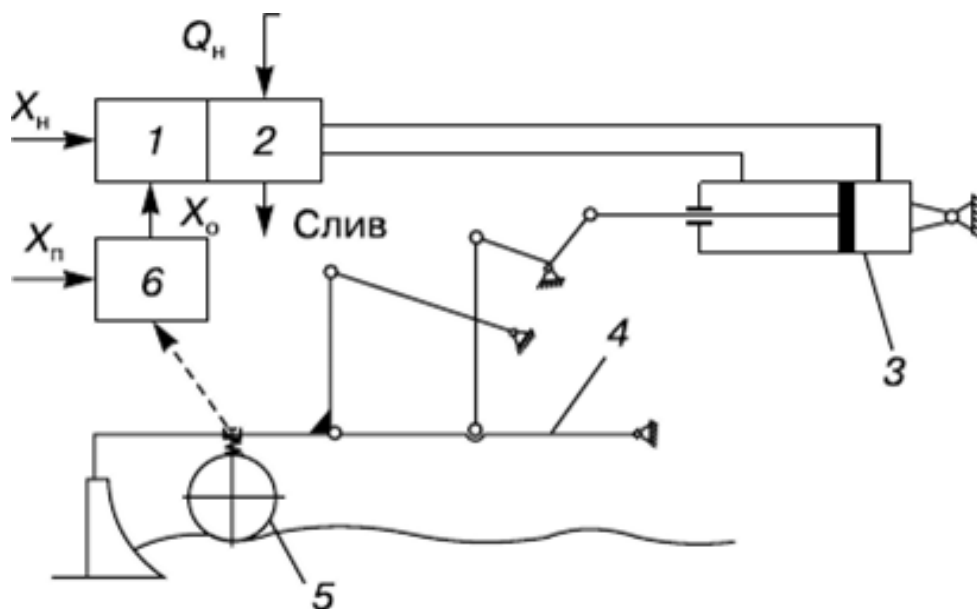
На сегодняшний день для обеспечения требуемых агротехнических параметров используют несколько способов регулирования положения навесной системы тягового орудия.

Силовое регулирование обеспечивает поддержку глубины почвообработки или посева через стабилизацию тягового сопротивления. Решение задачи состоит в поддержании в требуемом диапазоне усилия в центральной тяге механизма. Тем самым поддерживается сопротивление почвообрабатывающего орудия для соответствующей заданной глубины обработки почвы.

Силовое регулирование имеет недостаток, заключающийся в зависимости глубины почвообработки от имеющихся колебаний удельного сопротивления почвенного горизонта. Из-за этого силовой способ целесообразен при обработке выровненных полей с однородным составом почвы и, соответственно, небольшим колебанием удельного сопротивления почвы, а также при глубокой пахоте, так как по мере увеличения глубины обработки почвы ее удельное сопротивление выравнивается.

Позиционное регулирование работает по следующему принципу: навесная машина удерживается в определенном положении относительно корпуса тягового средства, при этом на положение рабочих органов не влияют неровности рельефа и тяговое сопротивление машины. Данный способ широко используется при обработке выровненных участков. Шарнирное крепление рабочих органов к раме тягового средства для почвообработки обеспечивает расширение возможности применения позиционного регулирования с ними, так как задается требуемая позиция только рамы исполнительного органа машины. Позиционный способ не обеспечивает защиту агрегата от тяговых перегрузок, вызванных, например, обработкой уплотненных, хотя и ровных участков полей. Преимуществом данного способа является догрузка трактора с помощью веса орудия и более высокие сцепные свойства колес, уменьшается пробуксовка и за счет этого тяговые возможности трактора используются более полно.

Высотный способ (рисунок 1) осуществляется, как пример, через опорные колеса машины 5, которые устанавливаются в зависимости от требуемой глубины обработки почвы на той или иной высоте относительно поверхности поля. Во время работы опорное колесо 5 осуществляет движение и перемещение по необработанной поверхности поля на установленной высоте, тем самым рабочие органы машины копируют рельеф поля. Необходимо отметить, что силовой гидроцилиндр 3 при этом способе регулирования переводится в плавающее положение.



1 – элемент настройки; 2 – гидрораспределитель; 3 – гидроцилиндр; 4 – навесная машина;
 5 – опорное колесо навесной машины; 6 – преобразователь сигнала;
 X_n – сигнал настройки глубины и хода рабочих органов; X_H – сигнал настройки переключателя; X_0 – сигнал обратной связи; Q_n – подача масла от гидронасоса
Рисунок 1 – Высотное регулирование положения рабочих органов навесных машин

Недостаток высотного способа регулирования – это необходимость ручной настройки на заданную глубину хода рабочих органов; залипание опорных колес влажной почвой и растительными остатками, что оказывает влияние на фактическую глубину; чрезмерное заглубление колес на рыхлых участках поля, что сказывается на увеличении глубины относительно заданной; кратковременное уменьшение глубины при наезде опорных колес на жесткие бугры и выступы; повышенная склонность к забиванию растительными остатками пространства между колесами, рабочими органами и рамой машины [2].

В связи с этим в настоящее время решение данной задачи реализуется через разработку систем автоматизированного регулирования положения рабочих органов навесных машин.

Предпосылки и пути создания автоматических систем высотного регулирования с использованием ультразвуковых датчиков расстояния были изучены Е. Я. Строком, Л. Д. Бельчиком, А. В. Вашулой [3]. Был проведен ряд экспериментов и исследований, после которых произведено обобщение результатов экспериментальных исследований системы высотного регулирования при бесконтактном копировании рельефа поверхности поля. Авторами было предложено при построении системы высотного регулирования использовать на тракторе серийные электрогидравлические компоненты, при этом схема соединения датчиков расстояния и положения должна была обеспечить их взаимное замещение через дополнительно введенный коммутатор, подключенный к позиционному контуру электрогидравлической системы управления навесным устройством трактора и не содержащий органов управления. Если по каким-то причинам ультразвуковой датчик отключается от коммутатора, это приводит в действие автоматическое подключение датчика положения, что позволяет при эксплуатации исключить предварительные настройки и регулировки (рисунок 2).

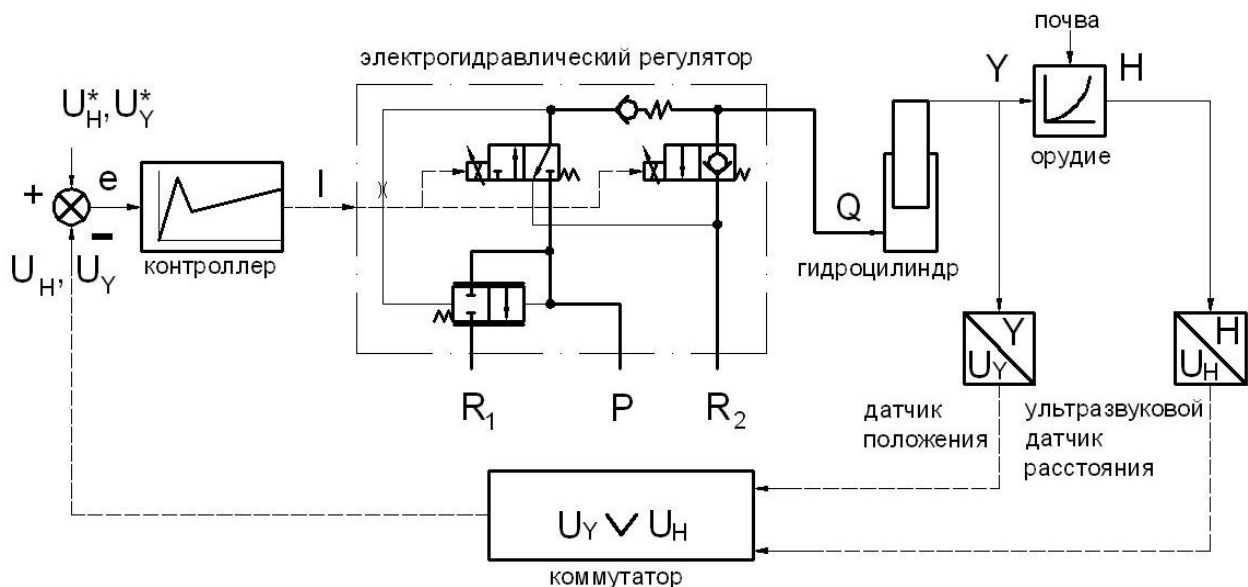


Рисунок 2 – Блок-схема системы высотного регулирования с использованием акустических методов

В процессе научных исследований авторами [3] был применен способ бесконтактного копирования рельефа поверхности поля с использованием акустических методов измерения расстояния реализованном на комбинированном почвообрабатывающе-посевном агрегате АПП-6М «Берестье» в сцепке с трактором тягового класса 5.

В рамках полевых испытаний была произведена проверка функционирования электрогидравлической системы высотного позиционирования в составе посевного агрегата и дана оценка качества заделки семян, основанная на фактической глубине высева.

Экспериментальные данные, полученные при сравнительных испытаниях почвообрабатывающего посевного многофункционального агрегата АПП-6М «Берестье» с трактором «БЕЛАРУС-3022», приведены в таблице.

Таблица – 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

Результаты сравнительных полевых испытаний показали, что при работе посевного агрегата, оснащенного системой бесконтактного высотного регулирования, заделка семян в рабочем слое увеличивается на 4,5 % по сравнению с позиционным регулированием навесного устройства. Это позволило уменьшить до 2-х раз неравномерность заделки семян сельскохозяйственных культур и повысить их урожайность.

Применение данного подхода при регулировании функциональных параметров пахотного агрегата в рамках сравнительных испытаний показывает, что неравномерность глубины обработки при высотном способе с использованием бесконтактного копирования рельефа поверхности поля имеет наименьшее значение и соответствует агротехническим требованиям. Поэтому применение ультразвукового датчика расстояния с соответствующим алгоритмическим и программным обеспечением в системах высотного регулирования положения рабочих органов сельхозмашин достаточно перспективное направление исследований.

Список цитированных источников

1. Мировые тенденции развития сельскохозяйственной техники, представленные на международной выставке «Agritechnika-2011» // Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: http://belagromech.by/img/articles/2012.01.26_3_tim_lep_sam/Vist_ganover_samosuk.pdf. – Дата доступа: 24.05.2024.

2. Улучшение тягово-сцепных свойств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://shsd.kz/hodovaya-chast-kolesnogo-traktora/48-uluchshenie-tyagovo-scepnyh-svoystv.html>. – Дата доступа: 15.05.2024.

3. Строк, Е. Я. 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.

УДК 621.833.1

Круковский Т. М.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Монтик С. В.

РАЗРАБОТКА ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Цилиндрические зубчатые передачи широко используются в различных приводах машин, оборудовании, оснастки и приборов благодаря своей простоте и технологичности, малым габаритам, высокому КПД, постоянству передаточного отношения, возможности применения в широком диапазоне вращающих моментов, скоростей и передаточных отношений, надежности. Около 80 % от общего числа зубчатых передач в машиностроении приходится на эвольвентные цилиндрические передачи. В связи с этим возникает задача проектирования зубчатых цилиндрических передач, которые удовлетворяют требованиям повышенной прочности, долговечности, износостойкости и плавности работы. При проектировании зубчатых передач необходимо обеспечить расчет их геометрических и прочностных параметров в соответствии с действующими

межгосударственными стандартами ГОСТ 16532-70 и ГОСТ 21354-87, а также разработку рабочих чертежей в соответствии с требованиями ЕСКД.

Рассмотрим возможности современного программного обеспечения для расчета зубчатых цилиндрических передач на примере российской импортонезависимой системы трехмерного проектирования КОМПАС-3D V21 ООО «АСКОН - Системы проектирования» с приложениями «Валы и механические передачи 3D», «Валы и механические передачи 2D», в состав которых входит модуль КОМПАС-GEARS. Система КОМПАС-3D представляет собой САД-систему с некоторыми возможностями и средствами CAE и САМ-систем.

Модуль расчета механических передач КОМПАС-GEARS позволяет выполнять расчет зубчатые цилиндрических эвольвентные передачи с постоянным передаточным отношением. Можно последовательно выполнить геометрический расчет, расчет на прочность и расчет на выносливость, а также проектный и восстановительный расчет.

При выполнении проектного расчета определяются параметры зубчатой передачи в зависимости от заданных условий ее работы. Проектный расчет возможно осуществить для следующих исходных данных: 1) по заданному межосевому расстоянию и передаточному отношению; 2) по числам зубьев передачи. Использование первого варианта возможно, например, при проектировании редукторов общемашиностроительного назначения, для которых задается стандартные значения межосевых расстояний и передаточных отношений. Вторым вариантом возможен при проектировании коробок скоростей, привода подач, когда первоначально определяется передаточное отношение, числа зубьев, а затем выполняется прочностной расчет зубчатой передачи. Расчет осуществляется методом дискретного поиска. В результате будет предложено до 15 вариантов параметров передачи, обеспечивающих прочность и планируемый ресурс работы при заданной циклограмме нагружения, заданном материале и наложенных геометрических ограничениях.

Геометрический расчет зубчатой передачи возможен для следующих вариантов: по межосевому расстоянию (по заданному межосевому расстоянию a_w определяется суммарный коэффициент смещения x_Σ , значение которого разбивается на x_1 и x_2); по коэффициентам смещения x_1 и x_2 (по коэффициентам смещения x_1 и x_2 определяется межосевое расстояние a_w ; начальные значения коэффициентов смещения можно задать в соответствии с рекомендациями ГОСТ 16532-70).

После выполнения геометрического расчета необходимо выполнить расчет на прочность при действии максимальной нагрузки (задается крутящий момент и частота вращения). После выполнения расчета на прочность выполняется расчет на долговечность, для которого задается планируемый ресурс работы передачи (в часах) и режимы нагружения в виде циклограммы крутящий момент – частота вращения для ведущего колеса, продолжительности работы на каждом режиме.

Проведенный анализ приложений «Валы и механические передачи 3D», «Валы и механические передачи 2D» системы трехмерного проектирования КОМПАС-3D V21 показал широкие возможности для выполнения проектных расчетов, а также геометрических и прочностных расчетов зубчатых цилиндрических

передач в соответствии с действующими стандартами, а также разработки 3D-моделей и рабочих чертежей в соответствии с требованиями ЕСКД. При этом используются различные методы оптимизации геометрических параметров зубчатых передач.

Однако нужно отметить, что в рассмотренных выше приложениях не предусмотрено выполнение проектировочных расчетов на контактную выносливость для определения ориентировочного диаметра начальной окружности шестерни или межосевого расстояния передачи, а также проектировочных расчетов на выносливость зубьев при изгибе для определения ориентировочного значения модуля по методикам, изложенным в ГОСТ 21354-87.

Также при выполнении проектировочных расчетов не всегда возможно задать циклограмму работы передачи. В ряде случаев удобно использовать типовые режимы нагружения, однако возможности ввода режимов нагружения в таком виде не предусмотрено [1].

Систему трехмерного проектирования КОМПАС-3D с приложениями «Валы и механические передачи 3D», «Валы и механические передачи 2D» возможно использовать в учебном процессе при выполнении курсового проекта по дисциплине «Детали машин». Однако для удобства выполнения расчетов целесообразно разработать специальную компьютерную программу для прочностного расчета зубчатых цилиндрических передач, которая бы учитывала методические рекомендации.

На кафедре машиностроения и эксплуатации автомобилей Брестского государственного технического университета была разработана методика упрощенного расчета цилиндрических зубчатых передач [2, 3], которая позволяет лучше изучить методику расчета зубчатых передач, работающих в закрытых корпусах.

ГОСТ 21354-87 рекомендует начинать проектный расчет эвольвентных цилиндрических зубчатых передач с ориентировочного определения диаметра начальной окружности шестерни d_{w1} (мм) или межосевого расстояния a_w (мм):

$$d_{w1} = K_d \cdot \sqrt[3]{T_2 K_{H\beta} (u - 1) / (\psi_{bd} [\sigma_H]^2 u^2)} \quad (1)$$

$$a_w = K_a (u + 1) \cdot \sqrt[3]{T_2 K_{H\beta} / (\psi_{ba} [\sigma_H]^2 u^2)} \quad (2)$$

где K_d и K_a – вспомогательные коэффициенты: для прямозубых передач $K_1 = 770$, $K_1 = 495$; для косозубых и шевронных передач $K_1 = 675$, $K_2 = 430$; T_2 – вращающий момент на колесе рассчитываемой зубчатой пары, Н·м; $K_{H\beta}$ – коэффициент концентрации нагрузки; u – передаточное число; $\psi_{bd} = b_w / d_{w1}$, $\psi_{ba} = b_w / a_w$, коэффициент рабочей ширины передачи b_w относительно соответственно межосевого расстояния a_w или начального диаметра шестерни d_{w1} ; $[\sigma_H]$ – допускаемые контактные напряжения для зубчатой пары в сборе, МПа.

В формулах (1) и (2) разные единицы физических величин: T_2 в Н·м, d_{w1} и a_w – в мм. $[\sigma_H]$ – в МПа.

В предлагаемой методике рекомендуется при проверочном расчете передач на сопротивление контактной усталости активных поверхностей зубьев для определения расчетных контактных напряжений σ_H (МПа) в полюсе зацепления используется формула

$$\sigma_H = \sqrt{E_{np} F_t K_{H\beta} K_{H\alpha} K_A (u + 1) / (b_W d_{W1} u)}. \quad (3)$$

В формуле (3): T_2 – в Н·мм; F_t – окружная сила в зацеплении, Н ($F_t = 2T_2/d_{W2}$ или $F_t = 2T_1/d_{W1}$); $K_{H\alpha}$ – коэффициент, учитывающий внутреннюю динамическую нагрузку в зацеплении и принимаемый по таблицам [2, 3]. K_A – коэффициент, учитывающий внешнюю динамическую нагрузку; b_W и d_{W1} – в мм.

Для цилиндрических косозубых зубчатых передач формулы для определения a_W и σ_H имеют вид:

$$a_W = (0,74 \dots 0,76)(u + 1) \sqrt[3]{E_{np} T_2 K_{H\beta} K_A / (\psi_{ba} u^2 [\sigma_H]^2)}, \quad (4)$$

$$\sigma_H = Z_{H\beta} \sqrt{E_{np} F_t K_{H\beta} K_{H\alpha} K_A (u + 1) / (b_W d_{W1} u)}, \quad (5)$$

где $Z_{H\beta}$ – коэффициент повышения нагрузочной способности косозубой зубчатой передачи в сравнении с прямозубой зубчатой передачей ($Z_{H\beta} < 1$) [2; 3].

При учебном курсовом проектировании в формулах (3) и (5) рекомендуется принимать $d_{W1} = d_1$, как для зубчатых передач, выполненных без смещения инструмента, так и со смещением.

Расчет цилиндрических зубчатых передач на сопротивление усталости зубьев при изгибе проводят отдельно для шестерни 1 и колеса 2 по условию:

$$\sigma_{F1(2)} = F_t K_{F\beta} K_{F\alpha} K_A Y_{FS1(2)} Y_{F\beta} / (b_{1(2)} m_n), \quad (6)$$

где $Y_{FS1(2)}$ – коэффициент, учитывающий форму зуба и концентрацию напряжений. $Y_{F\beta}$ коэффициент повышения прочности косозубой передачи по напряжениям изгиба в сравнении с прямозубой передачей (для косозубой передачи $Y_{F\beta} < 1$, для прямозубой $Y_{F\beta} = 1$).

Для реализации данной методики была разработана прикладная программа на базе табличного процессора MS Excel, которая позволяет выполнять прочностной проектными и проверочными расчетами, а также геометрический расчет цилиндрических зубчатых передач в соответствии с методическим пособием к курсовому проектированию по дисциплине «Детали машин» [4]. При выполнении проектирования передач в данной программе студент вводит свои исходные данные, самостоятельно выбирает в соответствии с рекомендациями материал и

термообработку деталей передачи, необходимые поправочные коэффициенты, при этом происходит автоматический пересчет данных. Это сокращает время выполнения курсового проекта и повышает его качество.

Данная прикладная программа внедрена в учебный процесс и используется при выполнении курсового проекта по дисциплине «Детали машин».

Список цитированных источников

1. Монтик, С.В. Применение современного программного обеспечения для расчета зубчатых цилиндрических передач / С.В. Монтик // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: сборник статей / Брестский государственный технический университет. – Брест : Издательство БрГТУ, 2023. – С. 92-96.

2. Санюкевич, Ф. М. Расчет закрытых передач зацеплением при курсовом проектировании по деталям машин / Ф. М. Санюкевич, С. В. Монтик, А. А. Волощук // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Машиностроение. – 2009. – № 4. – С. 61–63. – Библиогр.: с. 63 (6 назв.).

3. Санюкевич, Ф. М. Расчет эвольвентных зубчатых передач при курсовом проектировании деталей машин / Ф. М. Санюкевич, С. В. Монтик // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Машиностроение. – 2014. – № 4. – С. 47–49. – Библиогр.: с. 49 (3 назв.).

4. Методическое пособие к курсовому проектированию по дисциплине "Детали машин" для студентов технических специальностей : в 3 частях / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Кафедра "Машиностроение и эксплуатация автомобилей" ; сост.: С. В. Монтик [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2022. – Часть 1. – 43 с. – Библиогр.: с. 36 (2 назв.). – 21 экз.

УДК 620.172

Миневич К. Д.

*Научные руководители: к. ф.-м. н., доцент Веремейчик А. И.;
к. т. н., доцент Нерода М. В.*

ИСПЫТАНИЯ НА ИЗГИБ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 10Г2 ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ ЛАЗЕРОМ

Образцы из конструкционной стали 10Г2 толщиной 6 мм, шириной 20 мм и длиной 200 мм (отклонения от указанных размеров учтены при обработке результатов) подвергались лазерной поверхностной обработке излучением волоконного иттербиевого лазера мощностью 1 кВт с объективом для фокусировки лазерного излучения, системой перемещения и сканирующей лазерный луч головкой [6] при различных режимах обработки. Для каждого режима лазерной закалки и легирования использовалось три образца. На противоположных плоскостях образца с габаритными размерами 20 x 200 мм наносились 5 дорожек шириной по 4 мм, длиной 170 мм. Прохождение каждой дорожки производилось от одного заранее отмеченного торца образца (рисунок 1). Размер лазерного пятна равен 0,35 мм. Расстояние от поверхности образца до последнего дефлектора составило 450 мм. При лазерном легировании на образцы предварительно наносилась смесь бора аморфного с ацетоном и клеем БФ-4.

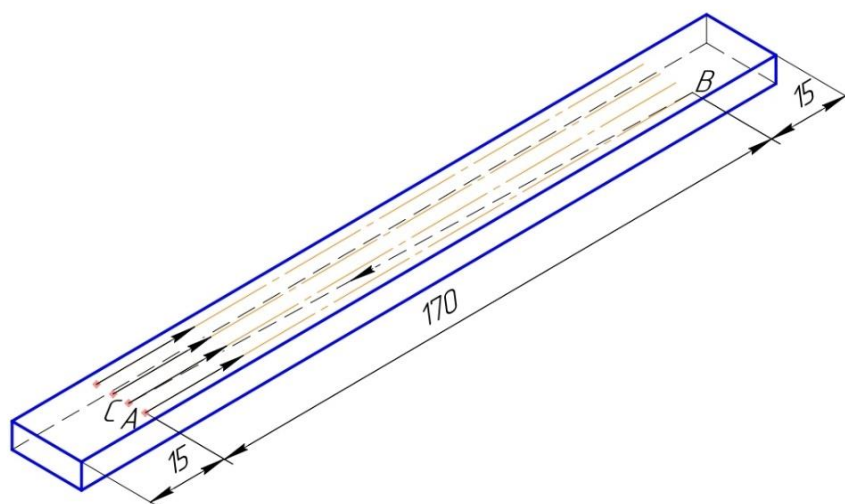


Рисунок 1 – Схема движения лазерного пятна сканирования по поверхности образца

Испытаниям на изгиб подвергнуты 15 образцов, обработка которых соответствует таблице 1. В процессе обработки с обеих сторон образцов было нанесено по 5 дорожек шириной по 4 мм сканирующим лазерным потоком.

Таблица 1 – Вид и режимы обработки

Серия	№ образца	Вид обработки	Скорость движения лазерной головки (V , мм/мин)
I	1, 2, 3	Необработанный	
II	2.1, 2.2, 2.3	Лазерная закалка (2а, 2б, 2в)	500
III	3.1, 3.2, 3.3	Лазерная закалка (3а, 3б, 3в)	700
V	5.1, 5.2, 5.3	Лазерное легирование (5а, 5б, 5в)	500
VI	6.1, 6.2, 6.3	Лазерное легирование (6а, 6б, 6в)	700

После обработки все образцы приобрели некоторую начальную погибь в связи с произошедшими после термического воздействия структурными изменениями в материале и возникновением остаточных напряжений.

Предварительно по 3 образца аналогичных серий были испытаны на разрывной машине Meitesi WDW-300 (Китай) для определения и сравнения диаграмм деформирования материала обработанных и необработанных образцов. Результаты испытаний приведены в [1] и показывают высокую степень повторяемости диаграмм, некоторое увеличение временного сопротивления материала после лазерной обработки (на 10–14 %) и сокращение соответствующих ему значений относительного удлинения (на 25–40 %).

При проведении испытаний на изгиб образцы устанавливались горизонтально плоской стороной симметрично на две неподвижные опоры цилиндрической формы с диаметром 5 мм и среднему поперечному сечению образцов придавалось вертикальное перемещение с постоянной скоростью $V = 1$ мм/мин. Перед нагружением начальная погибь образцов фиксировалась путем ее измерения непосредственно на испытательной установке (название) вдоль выпуклой

наружной поверхности в направлении от начала лазерной обработки к противоположному торцу образца с шагом 10 мм. Результаты этих измерений приведены на рисунке 2.

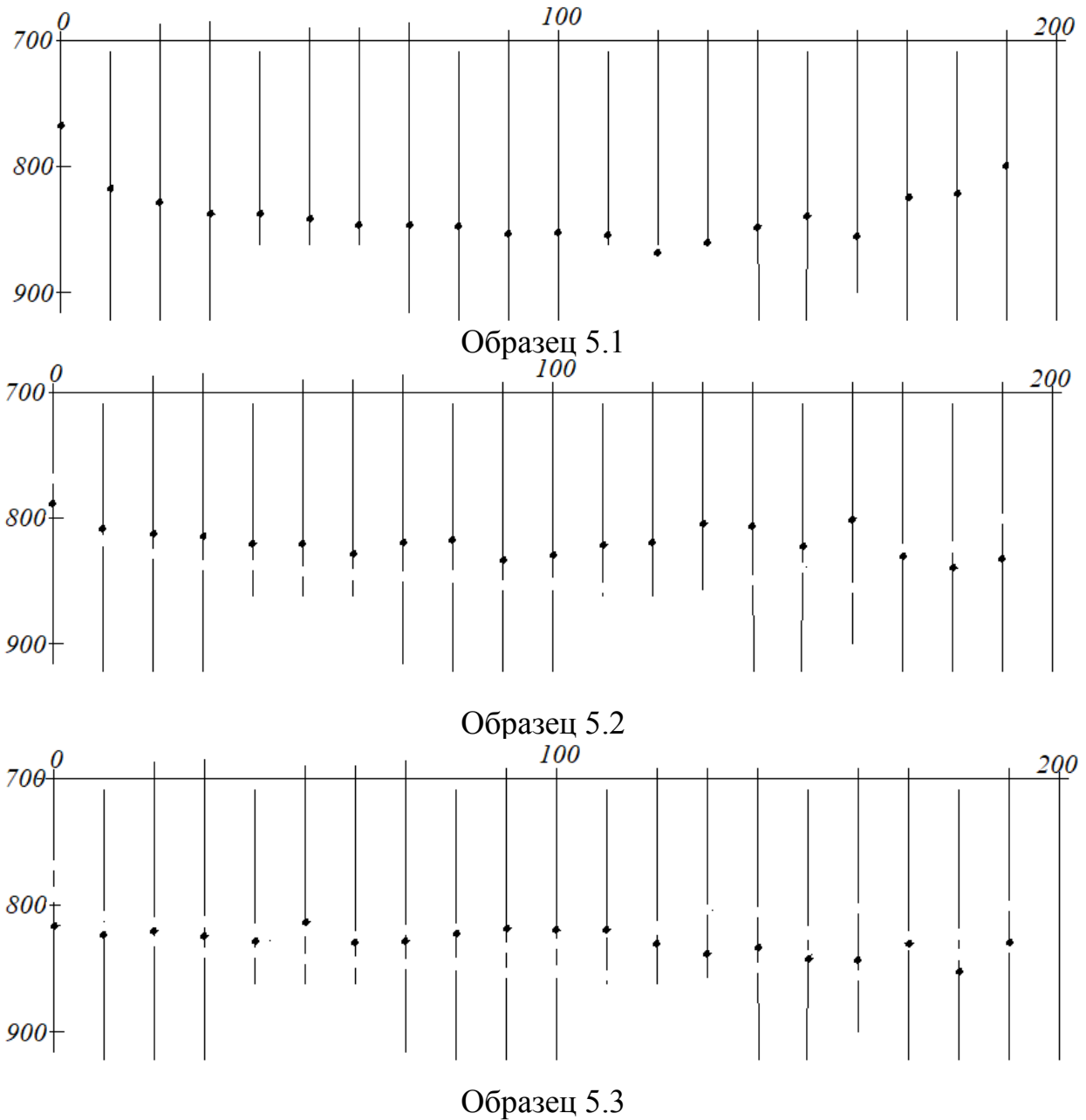


Рисунок 2 – Результаты измерений начальной погиби образцов

Схема испытаний показана на рисунке 3.

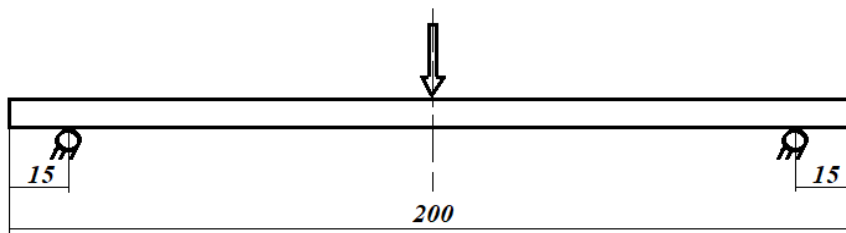


Рисунок 3 – Схема испытаний

На рисунке 4 показаны примеры нагружения образца на испытательной машине.

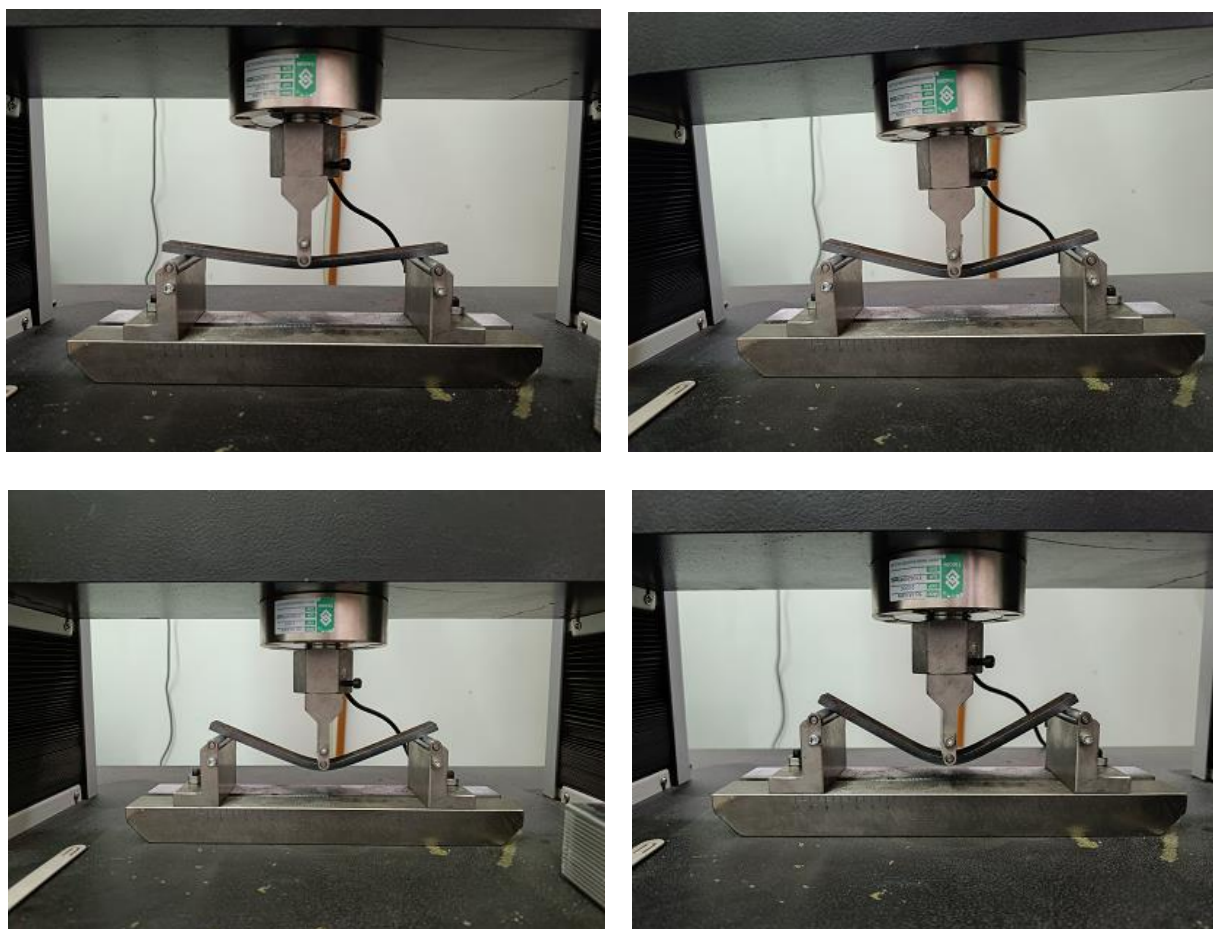


Рисунок 4 – Деформирование образца № 2 (серия I)

В связи с реализацией в испытаниях свободного опирания образцов (отсутствие закрепления на опорах) в процессе испытаний имело место проскальзывание концевых участков образцов на опорах при вертикальном перемещении центрального сечения. При этом при проведении испытаний один из образцов из каждой серии устанавливался погибью в противоположную сторону двум остальным. В процессе нагружения фиксировались перемещение точки контакта образца с нагружающим штоком (до 43–53 мм) и соответствующее ему усилие. При нескольких уровнях перемещений (с интервалом 10 мм) образцы фотографировались. Кроме того, определялось перемещение центрального сечения после разгрузки образца на испытательном стенде и его прогиб после выгрузки из установки. Ни один из образцов в испытаниях не разрушился, видимых трещин в их теле также не обнаружено. На концевых участках обработанных образцов произошло заметное истирание рельефа поверхности за счет действия сил трения скольжения.

На рисунке 5 в координатах «сила–перемещение» показаны совмещенные диаграммы нагружения образцов по сериям I–V.

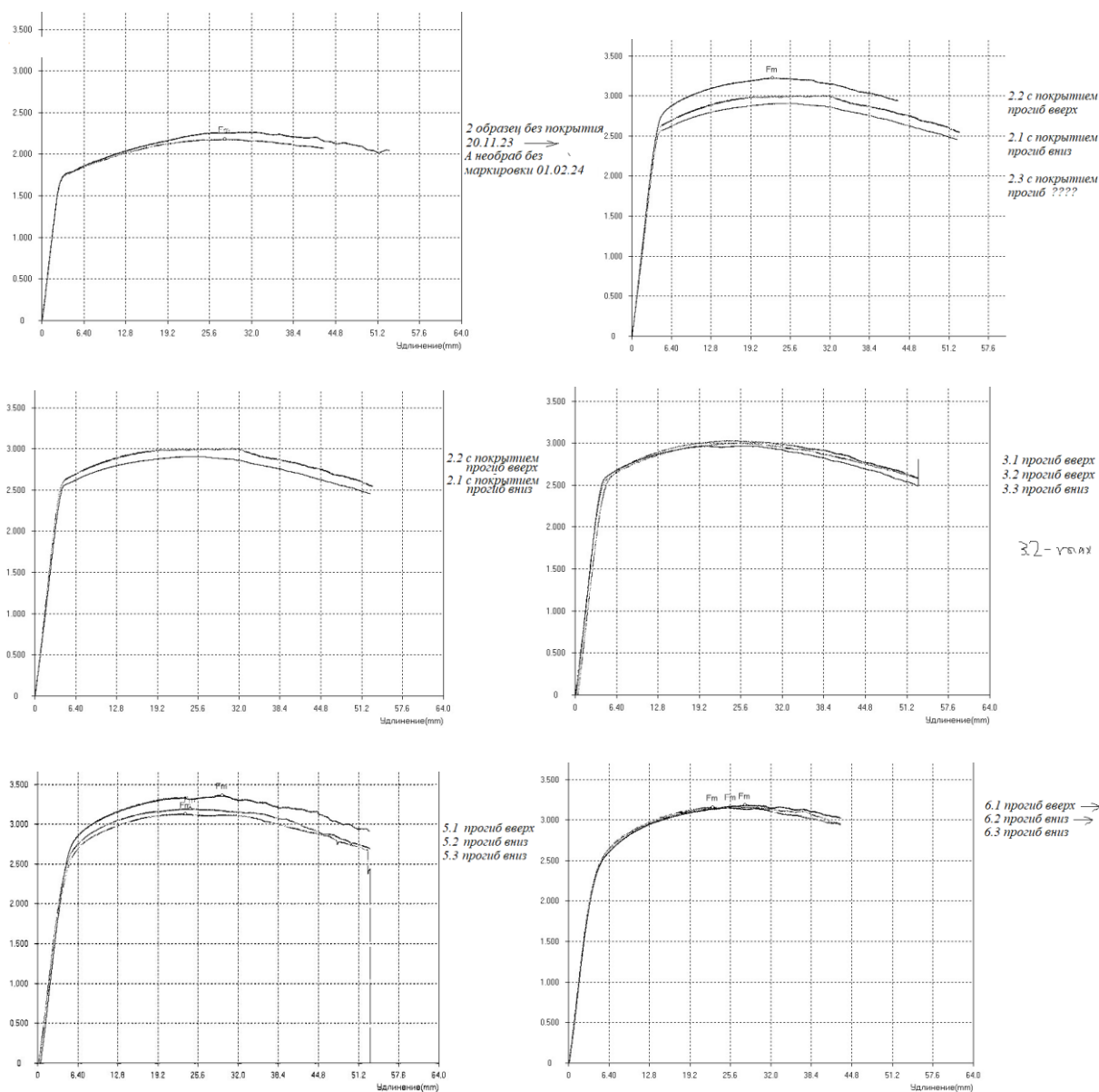


Рисунок 5 – Диаграммы нагружения при изгибе по сериям I–VI

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. – Киев : Наукова думка, 2008. – 215 с.
3. Лещинский, Л. К. 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. Радиационная плазмотехника. – Т. IX-3. – 2007. – 541 с.
5. Лашенко, Г. И. Плазменное упрочнение и напыление / Г. И. Лашенко. – Киев : Екотехнологія, 2003. – 64 с.
6. Девойно, О. Г. Обеспечение ресурсных параметров ответственных элементов механических трансмиссий с использованием поверхностных слоев, формируемых лазерными технологиями / О. Г. Девойно, И. В. Швец // Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. / Белорусский нац. техн. ун-т ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 266–270.

СИСТЕМЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Автомобильный транспорт играет важную роль в жизни человека. Ежедневно он доставляет товары от производителей к покупателю, собирает мусор, перевозит людей по городам, а также помогает в уборке урожая. Но мало кто задумывается, как автомобили влияют на здоровье населения и изменения климата. Транспортные системы могут принести пользу нашему здоровью, предоставляя возможности для физической активности, доступа к работе, образованию, медицинскому обслуживанию, выбору продуктов питания и социальной деятельности – или увеличивают риски для нашего здоровья из-за воздействия загрязнителей воздуха, выбросов шума и дорожно-транспортных травм.

На транспортный сектор приходится почти четверть всех глобальных выбросов парниковых газов (ПГ), он является одним из основных источников загрязнения воздуха в городских районах. Вклад транспорта в изменение климата включает долгоживущий углекислый газ (CO_2) и короткоживущий черный углерод, вырабатываемый, в основном, дизельными автомобилями. Исследования связывают загрязняющие вещества от транспортных средств, работающих на топливе, со всеми видами неблагоприятного воздействия на органы в организме человека.

Решение проблемы загрязнения автомобильным транспортом имеет решающее значение для улучшения качества воздуха и сокращения выбросов в результате глобального потепления во всем мире.

Рассмотрим наиболее известные технологии снижения выбросов на сегодняшний день, применяемые на автомобильном транспорте [1].

Рециркуляция отработавших газов. Данная технология заключается в перепуске их части во впускную систему двигателя и последующем возврате в камеры сгорания. Так как отработавшие газы содержат очень мало кислорода, максимальные температура и давление при сгорании топлива снижаются. В результате этого уменьшается выброс оксидов азота NO_x .

Количество отработавших газов, участвовавших в рециркуляции, может достигать 20...50 % общего расхода, при этом содержание NO_x снижается до 60 %.

Система подачи дополнительного воздуха. В данной системе токсичные продукты неполного сгорания топлива в цилиндрах двигателя на отдельных режимах его работы можно нейтрализовать в выпускном трубопроводе путем дожигания с помощью подачи дополнительного воздуха. Система подачи дополнительного воздуха обеспечивает снижение выброса токсичных веществ при пуске холодного двигателя. При прогреве двигателя отработавшие газы содержат повышенное количество несгоревших углеводородов. Непрогретый нейтрализатор не способен их переработать, так как его температура еще не достигла рабочих значений.

Подача дополнительного воздуха в выпускной трубопровод как можно ближе к тарелке выпускного клапана обогащает отработавшие газы кислородом, в результате чего создаются условия для дожигания их несгоревших компонентов. Выделяющееся при этом тепло ускоряет разогрев нейтрализатора до рабочих температур.

Автомобили с нетрадиционными двигателями (электромобили). Основные преимущества электромобилей заключаются в отсутствии выброса отработавших газов и бесшумности работы. Расходы на их ремонт относительно небольшие, что объясняется простотой ремонта. Электромобили обладают хорошей маневренностью, динамичностью. Все это предопределило применение их в городских условиях эксплуатации (короткие пробеги, частые остановки, насыщенный транспортный поток).

Гибридные системы. Кроме чистых электромобилей (т. е. с электрической тягой к колесам), существуют и гибридные электромобили. В них есть специальный двигатель внутреннего сгорания, электрогенератор и аккумуляторные батареи. Гибридные схемы позволяют повышать надежность электромобилей и снижать эксплуатационные расходы.

Применение гибридных систем привода является промежуточным этапом развития электромобилей. Предполагается, что в будущем будут созданы коммерческие образцы источников электропитания, которые обеспечат для легковых электромобилей и городских электроавтобусов такие же эксплуатационные возможности, какие имеют современные легковые автомобили и автобусы с приводом от двигателя внутреннего сгорания.

Водородные двигатели на топливных ячейках. По сути, это электромобили, так как и в тех, и в других движение осуществляется благодаря вращению электромотора. Разница лишь в источнике питания: электромобиль получает энергию от предварительно заряженного аккумулятора, а водородный – от пакета топливных ячеек, в котором при окислении водорода образуются электрическая энергия и вода.

Нейтрализация отработавших газов. Каталитическое действие нейтрализаторов основано на беспламенном поверхностном окислении токсичных веществ в присутствии катализатора, ускоряющего химическую реакцию. Процесс окисления происходит во время прохождения отработавших газов через слой носителя с нанесенным на него катализатором, причем скорость реакции сгорания зависит от температуры носителя. Применение каталитических нейтрализаторов позволяет дожигать продукты неполного сгорания (СН и СО) и разлагать оксиды азота.

В качестве активных компонентов каталитических нейтрализаторов для СН и СО применяют благородные металлы (до 1...2 г палладия, платины), а также оксиды переходных металлов (меди, кобальта, никеля, ванадия, хромата железа, марганца). Для нейтрализации могут применяться также катализаторы на основе меди с добавкой ванадиевого ангидрида и оксида хрома, оксида железа или алюминия, металлических сплавов (нержавеющая сталь, бронза, латунь, легированные стали с хромоникелем).

Сажевые фильтры. Снижение выброса сажевых частиц является сегодня одной из сложнейших задач в области очистки отработавших газов дизелей.

Помимо мероприятий, направленных на снижение выбросов CO, CH и NO_x и образования сажи при сгорании топлива непосредственно в двигателе, особое внимание уделяется фильтрации газов на выпуске из него. Одним из эффективных способов очистки газов от сажевых частиц является их задержание посредством специальных фильтров: с металлической «шерстью», с керамическими фильтрующими элементами, спиральных с керамическим наполнителем и др.

Очистка отработавших газов дизельных двигателей по принципу SCR. В процессе очистки по принципу SCR (Selective Catalytic Reduction, т. е. селективное каталитическое восстановление) в отработавшие газы добавляется восстановитель, например раствор мочевины с концентрацией 32,5 % по массе. В гидролизном нейтрализаторе из раствора мочевины добывается аммиак (NH₃), который реагирует в нейтрализаторе SCR с NO_x, в результате чего образуются азот и вода.

Применение альтернативных топлив. Одним из путей экономии жидкого нефтяного топлива и снижения уровня загрязнения окружающей среды является замена (полная или частичная) бензинов и дизельных топлив энергоносителями не нефтяного происхождения. К таким заменителям предъявляется ряд технических требований: они должны обладать физико-химическими свойствами, позволяющими использовать их на транспортных средствах без ухудшения технических параметров или существенного ограничения сферы применения; земные запасы этого топлива или сырья для его получения должны быть достаточно велики; отрицательное воздействие на окружающую среду при добыче, получении, хранении, использовании этих видов топлива должно быть приемлемым по характеру и размерам.

Среди альтернативных типов топлив в настоящее время привлекает внимание ряд продуктов различного происхождения. Это, в первую очередь, сжатый природный газ, сжиженные газы нефтяного происхождения, различные синтетические спирты, газовые конденсаты, водород, топлива растительного происхождения и т. д.

Сжатый природный газ является смесью углеводородов метанового ряда и неуглеродных компонентов: азота, диоксида углерода, сероводорода и др. Получают его путем сжатия природного газа, который, в зависимости от способа производства, может быть собственно природным (из буровых скважин газовых месторождений), попутным (нефтяным, получаемым при расходе нефти), газом газоконденсатных месторождений. Содержание различных компонентов в природном газе зависит от месторождения, но основной составляющей всегда является метан.

По сравнению с бензином сжатый природный газ в качестве топлива для двигателей обеспечивает значительное снижение (до 90 %) вредных выбросов, особенно CO с отработавшими газами, увеличение в 1,5 раза межремонтного пробега, увеличение в 2–3 раза срока службы моторного масла благодаря отсутствию его разжижения и уменьшению загрязнения (это ведет к уменьшению расхода масла на 30...40 %).

Синтетические спирты получают в результате синтеза из различного сырья. Наибольшее практическое применение находят метиловый и этиловый спирты.

В качестве сырья для метанола используют уголь, природный газ, известняк, бытовые отбросы, отходы лесного хозяйства. Этанол получают из сахарного тростника, свеклы, зерновых культур, различных сельскохозяйственных отходов.

Основным преимуществом спиртов является их высокая детонационная стойкость, что позволяет повышать степень сжатия в двигателе и соответственно его КПД. При работе на метаноле имеет место снижение теплонпряженности деталей цилиндропоршневой группы, коксования и нагарообразования. Кроме того, двигатель может работать на сильно обедненной смеси с большим избытком воздуха, что повышает его топливную экономичность.

При этом отработавшие газы менее токсичны, чем при работе на бензине: содержание оксидов азота уменьшается в 1,5–2,0 раза, углеводородов – в 1,3–1,7 раза.

Газовые конденсаты представляют собой жидкие углеводороды, конденсирующиеся при нормальных давлении и температуре из природных газов, находящихся в подземных пластах под давлением 4,9...9,8 МПа при температуре до 150° С.

Наиболее целесообразным считается использование газовых конденсатов в качестве топлива для дизелей в местах их добычи без сложной переработки.

Проблема применения водорода в качестве транспортного топлива уже длительное время привлекает внимание. Объясняется это тем, что водород имеет наиболее высокую теплоту сгорания, хорошо воспламеняется, быстро и полностью сгорает, продукты сгорания даже при использовании в качестве окислителя атмосферного воздуха могут быть практически безвредными в экологическом отношении. Запасы водорода в природе практически неограниченны.

В последнее время сильно возрос интерес к использованию в качестве топлива для дизелей масел растительного происхождения. Они получают путем переработки различных растений: рапса, подсолнечника, арахиса, сои, эвкалипта, хлопка и т. п.

Список цитированных источников:

1. Савич, Е. Л. Техническая эксплуатация автомобилей : учеб. пособие в 3 ч. / Е. Л. Савич, А. С. Сай. – Ч. 3. – Минск : Новое знание; Москва: ИНФРА-М., 2015. – 632 с.

УДК 681.5

Ярмак М. А.; Млынец И. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Кудрицкий Я. В.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В соответствии с особенностями проектирования технологических процессов, оно представляет собой, в основном, последовательный выбор типовых решений, в соответствии с определенными условиями производства и параметрами детали. Типовые решения разделяются на два уровня:

1. Типизация при обработке отдельных поверхностей, которая основывается на практически освоенных решениях и справочных данных. Типовые маршруты обработки поверхностей приводятся в таблицах средне-экономической точности обработки. Состав и последовательность методов обработки в маршруте определяются рядом факторов, из которых основным является конечный параметр точности поверхности детали.

2. Типизация на уровне обработки детали в целом, которая направлена на разработку технологических процессов типовых деталей, с использованием унифицированных техпроцессов.

Ограниченность возможностей современных технологических методов не позволяет в один технологический получить заданное качество. Поэтому, любой технологический процесс представляет собой совокупность технологических переходов, объединенных в одну или несколько операций, представляющих собой маршрут технологического процесса обработки детали. Построение маршрута технологического процесса является наиболее сложной и ответственной частью работы технолога.

Методы проектирования технологических процессов

При реализации способов автоматизированного проектирования технологических процессов можно выделить три основные методики.

Метод прямого проектирования

Метод прямого проектирования предполагает, что подготовка проектного документа возлагается на пользователя, выбирающего типовые решения.

По этому методу, процесс проектирования сводится к выбору из пользовательского меню различных уровней: операций; переходов; оборудования; оснастки. Выбранная информация автоматически заносится в графы и строки шаблона маршрутной или операционной карт. Все возможные варианты при такой методике находятся в базе данных.

Метод анализа

Анализ выполняется по схеме:

- 1) Ввод описания чертежа детали;
- 2) Определение конструкторско-технологического кода детали;
- 3) Поиск по коду в БД приемлемого ТП;
- 4) Анализ базового ТП и его доработка под конкретную деталь;
- 5) Оформление индивидуального ТП.

Для комплексной детали разрабатывается унифицированный ТП, который является избыточным. В данном ТП содержится описание операций и переходов для всех деталей группы. В соответствии с данной методикой, у деталей группы выявляются типовые поверхности, которые могут быть получены одним способом. Все эти поверхности включаются в комплексную деталь. Каждой характерной поверхности присваивается произвольный номер. ТП обработки конкретной детали формируется путем уточнения общих поверхностей с комплексной деталью группы. Затем производится выбор из группового ТП только тех операций и переходов, которые необходимы для обработки поверхностей заданной детали.

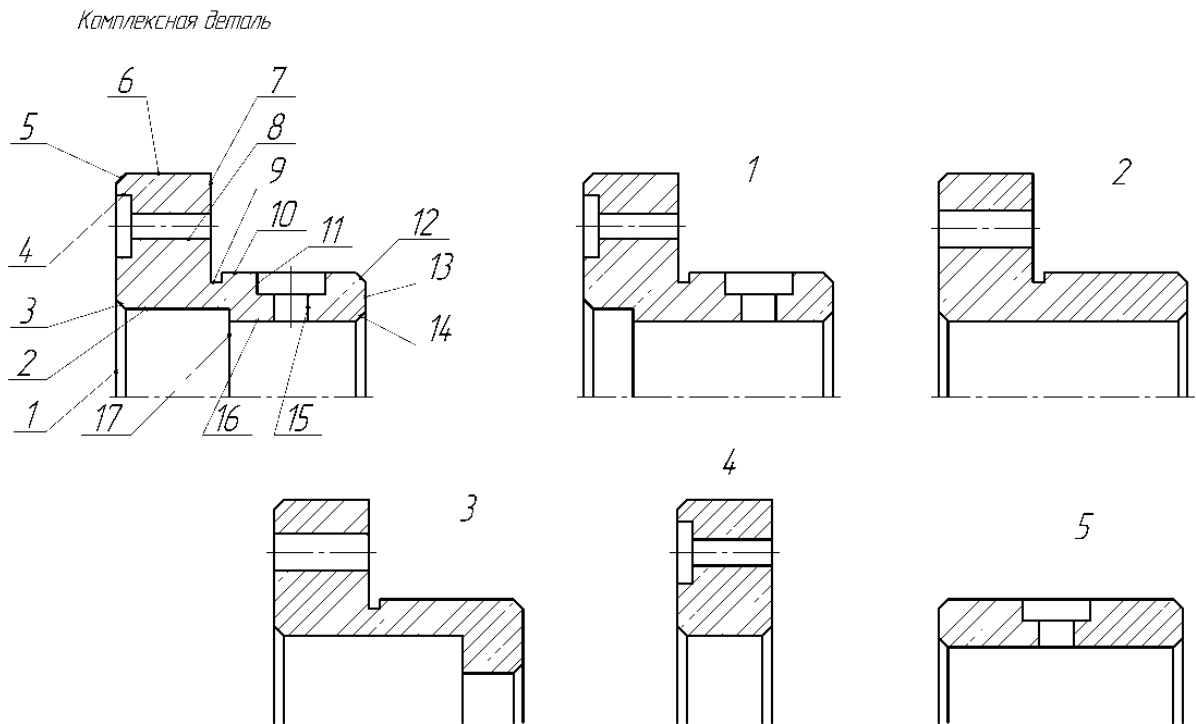


Рисунок 1 – Эскизы группы подобных деталей (1-5) и комплексная деталь

В ходе проектирования методом анализа выполняются следующие шаги:

1. Определяется принадлежность новой детали к определенной группе. Для этого сопоставляется конструкторско-технологический код детали с кодом комплексной детали.

2. Выполняется анализ с целью корректировки структуры унифицированного ТП комплексной детали. В ходе анализа проверяется необходимость включения в индивидуальный ТП каждой операции и перехода из унифицированного ТП.

3. Выполняется параметрическая настройка – т.е., выбор оборудования; оснастки; расчет режимов резания; норм времени и т.д.

Данный метод является основным при проектировании технологических процессов (особенно групповых и типовых).

Метод синтеза

Общая схема метода синтеза:

1. Ввод описания чертежа детали;
 2. Синтез маршрута обработки для всех поверхностей;
 3. Формирование этапов обработки в соответствии с принципиальной схемой ТП.

4. Упорядочение операций в маршруте;

5. Упорядочение переходов в операциях;

6. Доработка по описанию чертежа детали;

7. Оформление документации.

Разработка индивидуального ТП ведется синтезом из элементарных маршрутов обработки поверхности.

- Синтез маршрута обработки поверхности – это определение последовательности методов обработки, необходимых для достижения требуемых параметров по чертежу детали.

Между методами обработки и параметрами поверхности существует зависимость, описываемая функцией: $M_i: C_{i-1} \rightarrow C_i$, которая задает технологическое преобразование поверхности с параметрами низкого качества C_{i-1} в поверхность с параметрами более высокого качества C_i , посредством метода M_i .

Так как существует множество методов обработки, обеспечивающих выполнение заданных условий, то возможные варианты обработки поверхности можно представить в виде графа $G(C; M)$.

Множество «С» вершин графа характеризует параметры промежуточных состояний данной поверхности (рис.2).

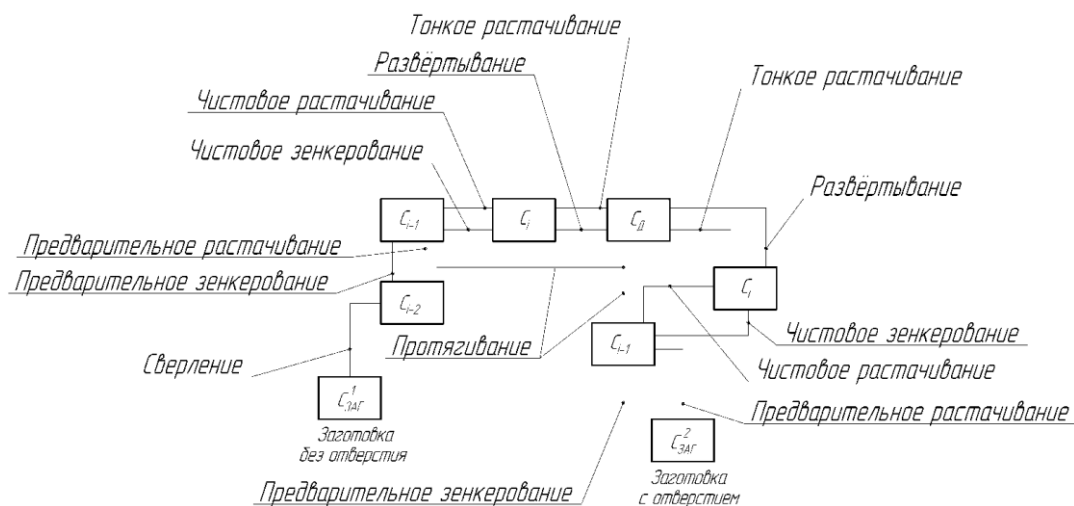


Рисунок 2 – Граф выбора методов обработки (вариант)

Если при разработке алгоритма учитывать опытные данные предприятий, то это позволит значительно сократить количество альтернативных вариантов, и исключить из рассмотрения нерациональные маршруты обработки поверхности.

Взаимное влияние технологических переходов может привести к тому, что приобретенное качество по какому-либо показателю на предыдущем переходе при неправильной последовательности переходов будет утеряно при достижении качества по другим показателям на последующих переходах. Поэтому последовательность технологических переходов и операций оказывает большое влияние как на достижение заданного качества детали, так и на эффективность решения этой задачи.

Процесс формирования геометрической точности детали, качества поверхностного слоя, структуры материала детали весьма сложный, поскольку необходимо учитывать взаимное влияние множества различных факторов, действующих при обработке заготовки.

Все вышперечисленные методы автоматизированного проектирования, а также большое разнообразие переменных факторов значительно усложняют автоматизацию технологической подготовки производства в целом. Поэтому, целесообразно выполнить разделение этапов проектирования, и представить процесс в виде многоуровневой структуры, рисунок 3. В результате такого разделения, процесс проектирования сводится к решению задач с различной степенью детализации на взаимосвязанных уровнях.

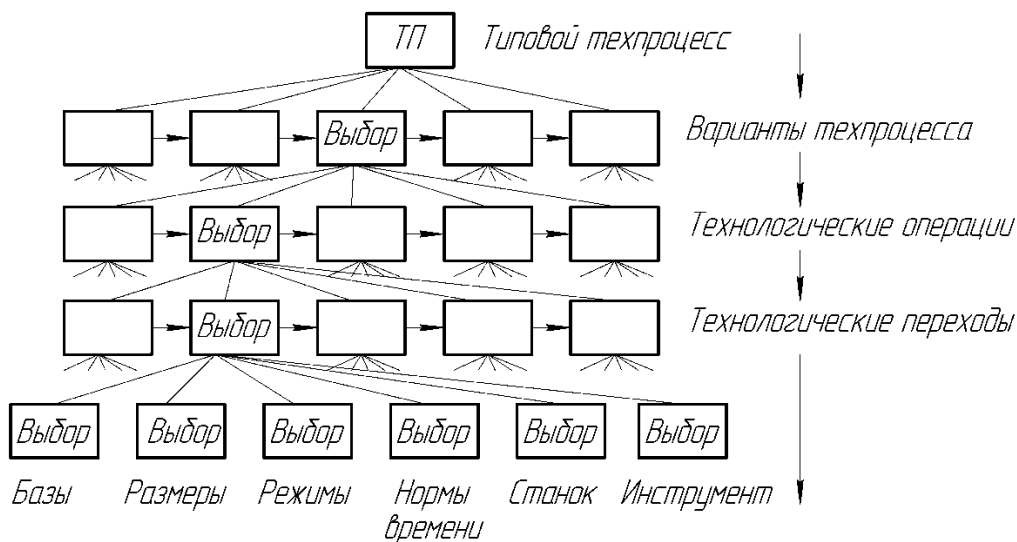


Рисунок 3 – Схема выбора варианта технологического процесса

По этой схеме (рис.3), промежуточные результаты могут использоваться в качестве исходных данных для следующего этапа проектирования. Это позволяет использовать на каждом уровне более простые модели и алгоритмы.

Разработка алгоритма выбора элементарного маршрута обработки

Вариант решения задачи выполняем для реализации в табличном редакторе Excel.

1. Формируем исходные данные: $d_{заг}$; $d_{д}$; $\delta_{заг}$; $\delta_{д}$; тип поверхности (Вн/Нар);

Материал (Сталь/Чугун)

2. В первом блоке выполняем определение допустимых отклонений для квалитетов от IT17 до IT5, с учетом заданного размера $d_{д}$.

Как вариант (можно больше):

2.1 Определяем, к какому диапазону размеров относится $d_{д}$ и присваиваем индекс, в порядке увеличения размеров;

2.2 Определяем № индекса диапазона и принимаем соответствующий допуск размера в отдельности для каждого квалитета.

Таким образом, для любого вводимого размера, автоматически будут определены допуски по всем квалитетам от IT5 до IT17. Полученные величины допусков будут затем использоваться при определении коэффициентов уточнения.

В данной задаче предполагается, что допуск расчетного размера может отличаться от стандартного значения, или его значение не задано, а задан квалитет. Поэтому, целесообразно организовать подпрограмму, позволяющую определить ближайший стандартный допуск размера, и соответствующий ему номер квалитета. Далее, уточненные значения допусков размеров поверхности детали и заготовки будут использоваться в расчёте.

Как вариант, сначала можно выполнить проверку принадлежности исходного допуска размера к ближайшему квалитету. После конкретизации квалитета можно перейти к соответствующим стандартным допускам.

Уточнение допусков размеров и соответствующих им квалитетов выполняется в две ветви – для детали и для заготовки. Вариант для детали показан на рисунке

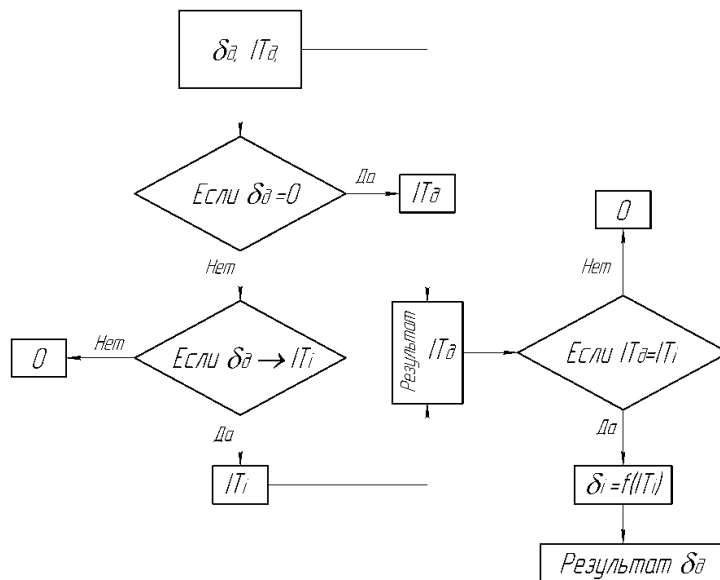


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма уточнения величины допуска размера и качества

Лист 3

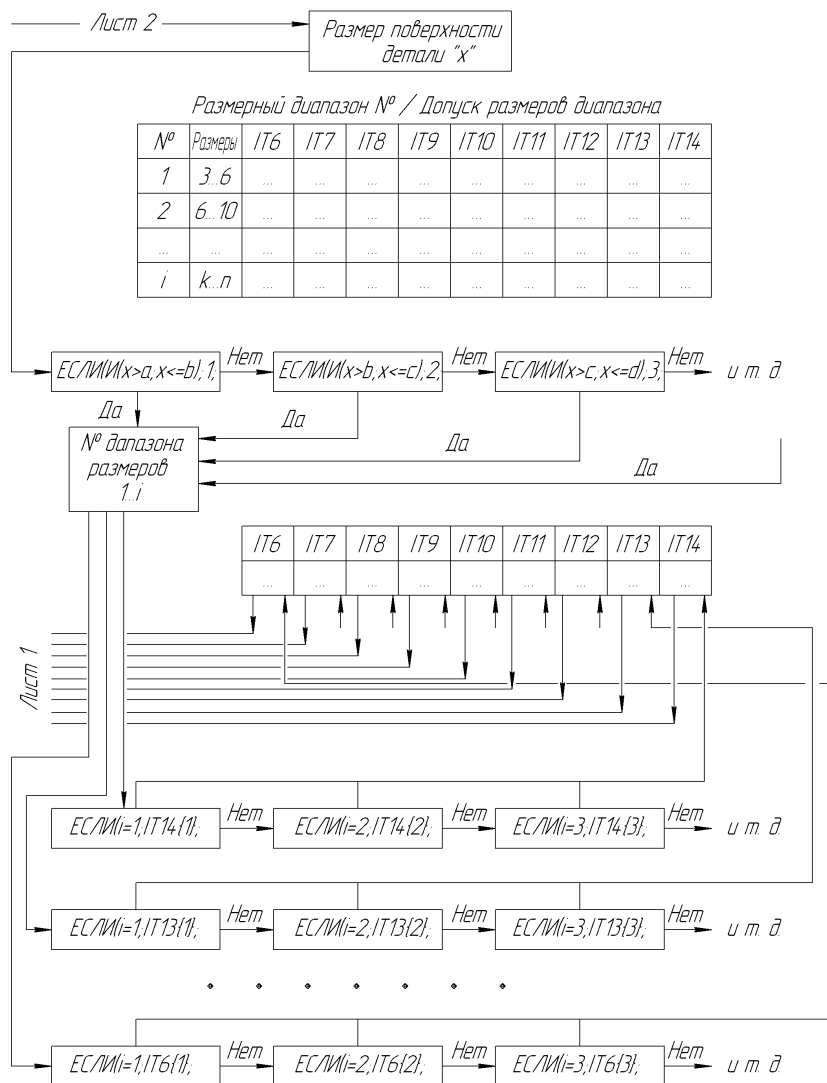


Рисунок 6 – Блок-схема алгоритма определения допуска и номера качества по заданной

величине размера обрабатываемой поверхности

3. Результат определения допусков по каждому качеству отправляем в качестве входных данных для следующего расчетного блока. В следующем расчетном блоке формируем ряды подпрограмм, для определения необходимого состава методов обработки.

4. Определяем возможные соотношения допусков: $\frac{\delta_3}{\delta_{i+n}}; \frac{\delta_3}{\delta_i}; \frac{\delta_{i-1}}{\delta_i}; \dots; \frac{\delta_{i-1}}{\delta_{i+1}}$ и т. д.

5. С целью упрощения подпрограмм разделяем блок-схему на две параллельные ветви. Признаком для разделения удобно выбрать классификацию по материалу, т.к. для стали и чугуна определены разные допустимые пределы коэффициентов уточнения.

При этом на проверку материала на принадлежность для стали и чугуна можно выполнить в отдельных ячейках т.е., разделить ветви решения.

6. Выполняем проверку всех возможных условий, и результат выводим в виде соответствующего кода.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	ПРОГРАММА ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТАРНОГО МАРШРУТА ОБРАБОТКИ																			
2	ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ УТОЧНЕНИЯ												Разработал: Филатов В.С. Руководитель: Кудрицкий Я.В.							
3																				
4	Исходные данные для расчета:												Легенда:							
5																				
6	Обрабатываемый диаметр						d=	56	мм	Коэффициент запаса			K _з =	1,2						
7	Допуск размера поверхности заготовки						δ=		мм	или			квалитет	IT	17					
8	Допуск размера поверхности детали						δ=	0,02	мм	или			квалитет	IT						
9																				
10	Уточненные стандартные величины допусков размеров																			
11	поверхности заготовки и детали, мм по СИ СЭВ 144-75:																			
12	δ _{заг} =		3	мм	квалитет			IT	17											
13	δ _{дет} =		0,019	мм	квалитет			IT	6											
14																				
15	Укажите тип обрабатываемой поверхности (наружная - код=1, внутренняя - код=2):												1	- Наружная цилиндрическая поверхность						
16	Укажите обрабатываемый материал (сталь - код=1, чугун - код=2):												2	- Обрабатываемый материал - Чугун						
17																				
18																				

Рисунок 7 – Оформление листа ввода исходных данных в Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
19	ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ МАРШРУТ ОБРАБОТКИ																			
20	Примечание: расчет выполнен для максимально возможных параметров точности. Размер с меньшей точностью будет обеспечиваться гарантированно при выполнении расчетного количества переходов.																			
21																				
22	Общее расчетное количество переходов:																			4
23																				
24	переход/операция №1																			
25	Однократное или предварительное точение. Точность IT13.																			
26	Точность размера после выполнения перехода, мм -																			0,46
27																				
28	переход/операция №2																			
29	Чистовое точение. Точность IT10.																			
30	Точность размера после выполнения перехода, мм -																			0,12
31																				
32	переход/операция №3																			
33	Чистовое шлифование. Точность IT7.																			
34	Точность размера после выполнения перехода, мм -																			0,03
35																				
36	переход/операция №4																			
37	Чистовое точное шлифование. Точность IT6.																			
38	Точность размера после выполнения перехода, мм -																			0,019
39																				
40																				
41																				
42																				
43																				
44																				
45																				
46																				

Рисунок 8 – Результаты расчетов и выбор варианта элементарного маршрута обработки

Заключение

В ходе выполнения работы был апробирован метод построения элементарного маршрута обработки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей по коэффициентам уточнения.

Особенностями алгоритма решения поставленной задачи являются:

1) Возможность ввода исходной информации о точности поверхностей заготовки и детали как в виде номера качества размера, так и указанием величины допуска на размер, причем величина указанного допуска может отличаться от стандартного значения, а выбор ближайшего стандартного допуска выполняется автоматически;

2) По результатам расчета для каждого технологического перехода определяется максимально возможный коэффициент уточнения, таким образом, принимается минимальный, но достаточный состав элементарного маршрута обработки;

3) Результаты вычислений выводятся на экран в виде последовательности типовых технологических переходов, необходимых для обеспечения заданных параметров точности поверхности детали, кроме этого, программа выводит информацию о точности размера (номер качества и допуск), получаемую после каждого технологического перехода.

Результаты работы позволяют рекомендовать данную методику для создания САПР технологического профиля с возможностью наполнения базы данных о типовых методах обработки и увеличения количества входных параметров. Причем для типовых методов обработки можно предусмотреть подключение баз данных по соответствующей технологической оснастке и режущим инструментам.

Список цитированных источников

1. Проектирование технологий машиностроения на ЭВМ: Учебник для вузов/ О.В. Таратынов, Б.М. Базров, В.В. Клепиков и др.; Под ред. О.В. Таратынова. – М.: МГИУ, 2006. – 519 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. Том 1 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова., М.: Машиностроение–1, 2001, 912 с
3. Справочник технолога-машиностроителя. Том 2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова., М.: Машиностроение –1, 2001, 944 с
4. Методические указания для выполнения курсового проекта по специальности 36 01 01 «Технология машиностроения» / О. А. Медведев, А. П. Акулич, Брест: БрГТУ, 2009.

УДК 621.791

Ярмак М. А.; Парафенюк Н. Д.

Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Веремейчик А. И.

ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАЗМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 45

Для реализации метода поверхностного упрочнения стальных изделий создана экспериментальная установка, состоящая из роботизированного комплекса *Advercut K6090T* с разработанным к нему узлом крепления плазменного генератора (рисунок 1).

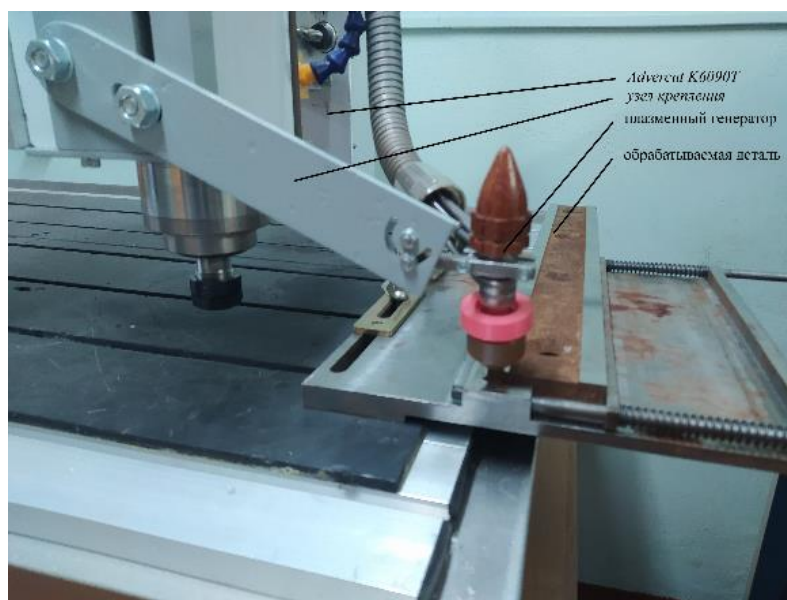


Рисунок 1 – Фрагмент экспериментальной установки для поверхностного плазменного упрочнения стальных изделий

В результате скоростного локального нагрева поверхности детали плазменной дугой до высоких расчетных температур и дальнейшего охлаждения изделия, которое достигается высокоскоростным отводом тепла во внутренние его слои, в материале происходят структурные превращения. Так как объем нагреваемого под дугой металла мал, происходит быстрый отвод тепла в тело образца. Исследование скоростей нагрева и охлаждения, в зависимости от режимов работы плазматрона проведены в работах [1–3]. При воздействии высококонцентрированного источника тепла в зоне термического влияния образуется мартенситно-аустенитная структура. Следует отметить, что структурные превращения при плазменном упрочнении происходят в основном также, как и при объемной закалке, однако, высокие скорости нагрева и охлаждения приводят к увеличению плотности дислокаций и термонапряжений в кристаллической решетке, что существенно увеличивает твердость поверхностного слоя. Так, например, твердость стали при объемной закалке (48–53) HRC, закалке ТВЧ (51–56) HRC, плазменной закалке (54–59) HRC. Основное достоинство плазменной закалки заключается в существенном увеличении твердости приповерхностного слоя изделия и сохранении исходных свойств металла в его внутренних слоях, что повышает сопротивление усталости и изнашиванию детали, и что недостижимо при традиционных методах упрочнения. Отметим также, что глубина модифицированного слоя при воздействии плазменного источника нагрева варьируется в пределах 0,5–2,5 мм, ширина упрочненной зоны – 5–15 мм [4]. Процесс плазменного упрочнения может осуществляться с оплавлением и без оплавления поверхностного слоя. Во втором случае упрочненная зона не требует финишной обработки.

Проведены исследования вольт-амперных характеристик дуги при токах (7–30) А, при этом напряжение дуги составляет (14–35) В в зависимости от соотношения расходов аргона и азота.

Для исследования свойств упрочненного поверхностного слоя применялись металлографический, фазовый, рентгеноструктурный анализы. Шероховатость

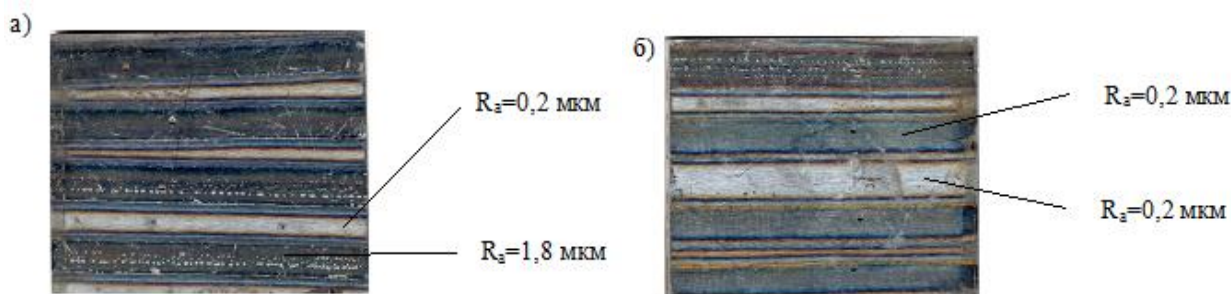
Ra поверхностного слоя определялась с помощью измерительного комплекса с лазерным сканированием *Mistral 070705* фирмы *BROWN&SHARPE* с программным обеспечением *PC-DMIS PRO Software*, позволяющего производить контроль в *3D* с предоставлением протоколов контроля (точность измерения 0,003 мм). Для определения влияния плазменной дуги на микроструктуру и свойства стали выполнен металлографический анализ образцов в форме параллелепипеда с нанесенной плазменной дорожкой.

Для совершенствования процесса поверхностной плазменной закалки в качестве материала выбрана сталь 45, свойства которой достаточно изучены при обработке лазером, микроплазменной дугой и другими методами. Этот факт позволяет оценить достоверность результатов поверхностного плазменного упрочнения с помощью разрабатываемого метода. При термообработке осуществляется высокоскоростной нагрев с быстрым охлаждением, что приводит к упрочнению зоны нагрева, т. е. вследствие оговоренных превращений создается слой с высокой степенью дискретности мартенсита. Рассматриваемая сталь содержит менее 0,5 % углерода и при фазовых превращениях его кристаллы имеют форму пластин.

Выполнен микроструктурный анализ сталей при термообработке образцов с использованием аргона и азота в качестве защитных газов. Зона влияния плазменной струи имеет форму сегмента и по своему строению аналогична зоне влияния при термообработке стали лазером и электронным лучом.

Воздействие плазменной дуги на поверхность образца приводит к изменению микрогеометрии поверхности. При упрочнении в твердой фазе закалка металла происходит без оплавления и шероховатость поверхности остается такой же, как и при механической обработке в исходном состоянии. С помощью системы *Mistral 070705* построена топография поверхности образцов из стали 45 без оплавления и с оплавлением (рисунок 2).

Эксперименты показали, что поверхностное упрочнение сталей высококонцентрированным источником нагрева можно осуществлять с оплавлением и без оплавления поверхности (из жидкого состояния, в твердой фазе).



а) с оплавлением поверхности; б) без оплавления поверхности

Рисунок 2 – Микрогеометрия поверхности образцов после термообработки

Проведено исследование механических характеристик образцов при горении дуги в среде аргона. На рисунке 3 показано распределение микротвердости стали 45 по глубине упрочняемого слоя.

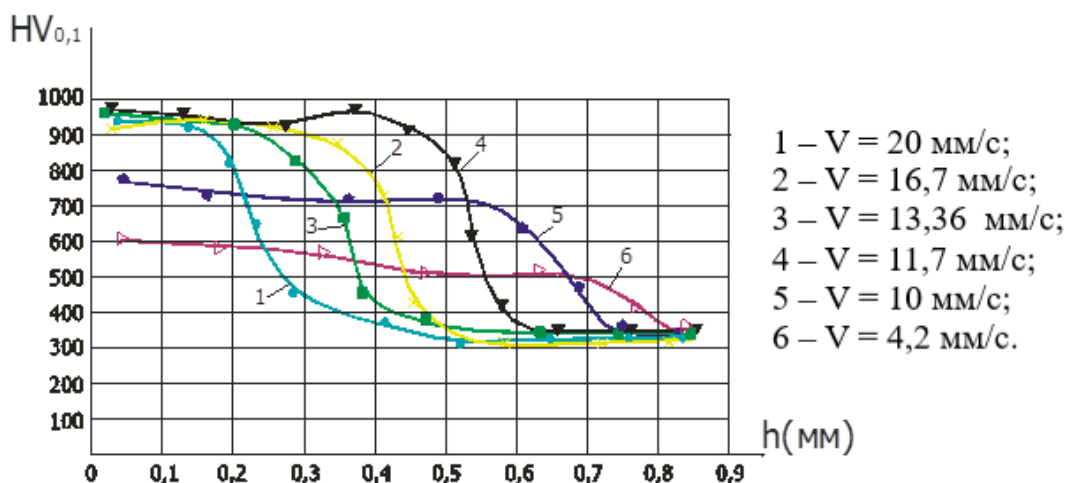


Рисунок 3 – Зависимости распределения микротвердости стали 45 по глубине поверхностного слоя

В таблице 1 указаны режимы плазменной закалки поверхности и результаты измерения микротвердости в точках по длине дорожки.

Таблица 1 – Режимы плазменной закалки и значения микротвердости

Номер дорожки	d, мм	h, мм	U, В	I, А	v, см/с	G _{осн} (Ar), л/мин	G _{защ} (Ar), л/мин	Микротвердость HV		
								слева (л)	центр (ц)	справа (п)
35	1,8	1,4	39	23	10	10	60	379,498	525,916	365,344
36			38	22	26	8	60	418,747	484,35	461,372
37			39	23	26	10	80	368,889	571,976	373,049
38			39	23	20	10	80	380,359	561,788	398,864
40			40	23	20	10	80	447,63	525,653	424,195
41			42	26	20	10	80	482,081	675,484	550,808
43			42	26	16	10	80	502,831	693,988	522,978
44			42	26	16	10	80	572,892	663,479	499,025
45			39	23	16	10	80	499,607	573,536	487,471

Примечание: d – диаметр сопла; h – расстояние от сопла до обрабатываемой поверхности; U – напряжение дуги; I – ток дуги; v – скорость движения источника нагрева; G_{осн}(Ar) – расход основного газа; G_{защ}(Ar) – расход защитного газа.

На рисунке 4 показана микроструктура поверхности упрочненной зоны образца в зависимости от режимов плазменной закалки. На каждой дорожке произведено девять замеров микротвердости. Точки промеров распределены по длине следующим образом: по три точки вначале участка (слева), по центру (центр), в конце участка (справа).

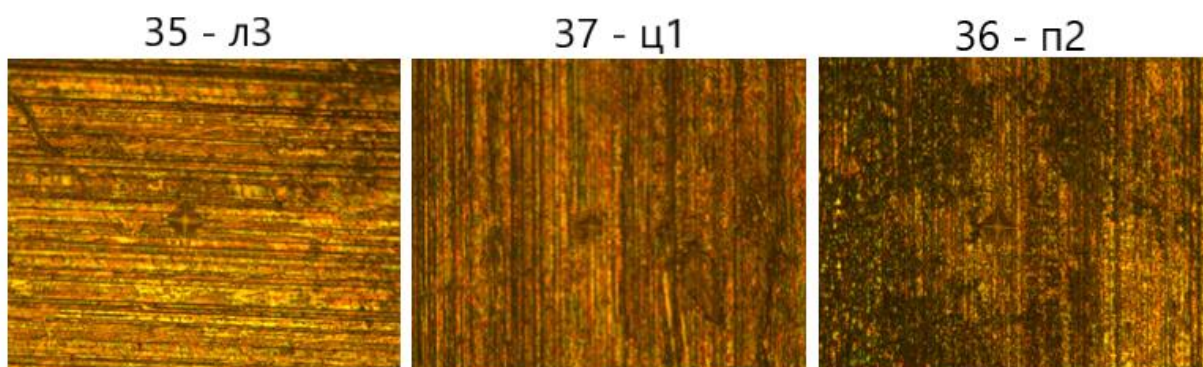
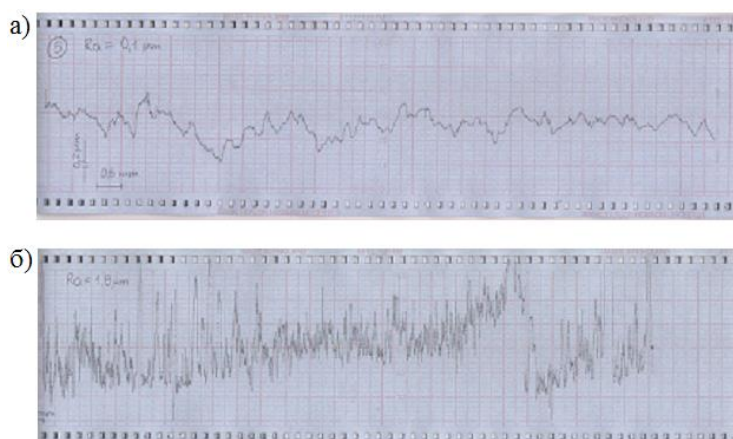


Рисунок 4 – Микроструктура поверхности упрочненной зоны

Анализируя профилограммы, можно заключить, что шероховатость поверхности порядка $Ra = 0,2$ мкм после механической обработки образцов сохраняется такой же и после обработки плазменной дугой.

Как видно из рисунка 4, поверхность образца с оплавлением имеет сложный рельеф, обусловленный системой впадин и гребней. По результатам экспериментальных исследований установлено, что при закалке поверхности в твердой фазе целесообразно применить аргон в качестве защитного газа, который в меньшей степени, чем азот, обжимает дугу. В результате снижается плотность потока энергии, которую поглощает поверхность, и температура поверхностного слоя металла получается ниже температуры его плавления.



а) без оплавления поверхности; б) с оплавлением поверхности

Рисунок 5 – Профилограмма поверхности образцов после термообработки

Плазменная закалка сталей без оплавления поверхности является наиболее распространенной, т. к. обеспечивает сохранение необходимых качеств поверхности изделия (шероховатость), которые получены механической обработкой. В этом случае процесс поверхностной плазменной закалки используется как финишная операция. Необходимые значения твердости, размеры зоны воздействия струи и другие параметры можно регулировать в широких пределах. В случаях, когда для детали необходимо получить особенные эксплуатационные свойства или к шероховатости рабочей поверхности не предъявляются высокие требования, используют плазменную закалку с оплавлением поверхности.

Большое влияние на изменение шероховатости поверхности оказывает ток дуги, скорость движения источника и объемы расхода газов. Эксперименты показали, что шероховатость поверхности в диапазоне $0,1-20$ мкм для образцов из стали 45 можно получать, варьируя процентным отношением смеси защитных газов аргон:азот. Установлено, что при 30 % содержании азота и 70 % аргона в смеси термообработка происходит без оплавления поверхности, повышение же процентного содержания азота приводит к оплавлению поверхности (технологические параметры процесса: ток дуги $I = 26$ А, скорость перемещения источника $v = 11,7$ мм/с). Оплавление поверхности можно получить также, изменяя скорость движения источника при постоянстве других технологических параметров. Установлено, что наименьшая шероховатость поверхности $Ra = 0,2$ мкм получается при воздействии дуги в защитной 100 % среде аргона при $v = 11,7$ мм/с, $I = 26$ А.

Список цитированных источников

1. Немчинский, А. Л. Тепловые расчеты термической обработки / А. Л. Немчинский. – Л. : Судпром, 1953. – 106 с.
2. Веремейчик, А. И. Температурное поле в ноже гильотинных ножниц при действии движущегося нормально-кругового источника нагрева / А. И. Веремейчик, В. М. Хвисевич, Б. Г. Холодарь // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: сборник статей / Брестский государственный технический университет. – Брест : БрГТУ, 2022. – С. 188–193.
3. Веремейчик, А. И. Температурное поле в ноже гильотинных ножниц при локальной поверхностной плазменной закалке / А. И. Веремейчик, В. М. Хвисевич // Актуальные проблемы прочности: материалы междунар. науч. конф., г. Минск, 23–27 мая 2022 г. / под ред. В. В. Рубаника – Минск : УП «ИВЦ Минфина», 2022. – С. 375–376.
4. Сафонов, Е. Н. Плазменная закалка деталей машин: монография / Е. Н. Сафонов // М-во образования и науки РФ; ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2014. – 116 с.

УДК 004.94:539.3

Ярмак М. А.; Парafenюк Н. Д.

Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Веремейчик А. И.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ

В сегодняшних условиях производства широко используются низколегированные стали с высоким содержанием углерода и чугуны. Но эксплуатационные свойства и срок службы не отвечают постоянно растущим требованиям, предъявляемым к таким деталям. Это влечет за собой частое обслуживание и замену отдельных узлов. Одним из вариантов решения таких задач является обработка концентрированным потоком энергии (лазерная, электроннолучевая, катодно-ионная и др.), но оборудование для такой обработки дорогое и сложное в освоении, требует использование вакуума, специальных помещений, что ограничивает габариты обрабатываемых деталей. Плазменная обработка лишена большинства из этих недостатков [1].

Поверхностное упрочнение может производиться тремя основными группами методов.

Механические методы: дробеструйная обработка (ABSP), механическая обработка поверхности истиранием (SMAT), ультразвуковая дробеструйная обработка (USP), абразивно-струйная обработка (SB), лазерное ударное упрочнение (LSP).

Термические методы: обработка ТВЧ, цементация, азотирование, плазменная закалка, плазменное азотирование, лазерная обработка.

Химические и электрические методы: химическое осаждение пленок (CVD), анодирование, ионное осаждение [2].

Наиболее перспективными методами поверхностной обработки являются лазерная и плазменная локальные поверхностные закалки.

В отличие от традиционных способов термообработки воздействие концентрированной плазменной струи (дуги) включает одновременное тепловое,

механическое и радиационное воздействие. Закалка сталей нагревом концентрированными потоками энергии по аналогии с другими видами закалки, заключается в образовании аустенитной структуры при нагреве и дальнейшем превращении ее в мартенсит на стадии охлаждения. В этом случае тепловая энергия превышает энергию, необходимую для перестройки кристаллической решетки. Такое упрочнение реализуется путем локальной закалки с помощью быстро перемещающегося высокоинтенсивного концентрированного источника тепла – плазмотрона, характеризующегося следующими преимуществами:

- достаточно малой глубиной закалки – до 0,7 мм и лишь в местах износа;
- твердостью и износостойкостью поверхностного слоя, которая значительно выше, чем при объемной закалке;

отсутствием термических деформаций благодаря локальности и кратковременности взаимодействия струи плазмы с поверхностью металла [3–4].

Поверхностная закалка широко используется для повышения износостойкости стальных механических деталей, таких как шестерни, валы, прокатные валки, штампы и т. д., в различных отраслях промышленности. Это достигается преобразованием поверхностной структуры стали из аустенита в мартенсит путем приложения соответствующего количества тепла с последующим быстрым охлаждением нагретого слоя. Этот процесс обычно осуществляется с помощью плазменного пучка, лазерного луча, электронного луча или пламени [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. Скорость процесса охлаждения является фактором, существенно влияющим на результат термообработки – ее увеличение способствует созданию более дисперсной мелкозернистой структуры материала, и, соответственно, более мелких по размерам дефектов и более высоких показателей твердости и износостойкости.

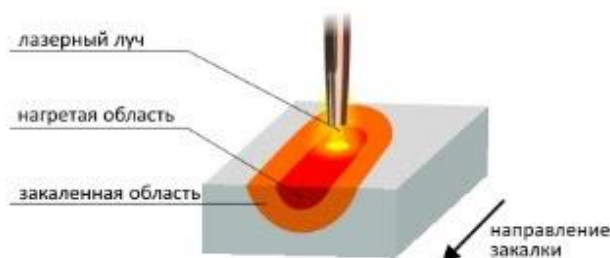


Рисунок 1 – Схема лазерной закалки

Сфокусированный лазерный луч (рисунок 1) быстро нагревает поверхностный слой металла до температуры, при которой его микроструктура превращается из ферритной или перлитной фазы в аустенитную. Большая температура

изменяет расположение атомов углерода в структуре металла, после чего начинается аустенитное превращение.

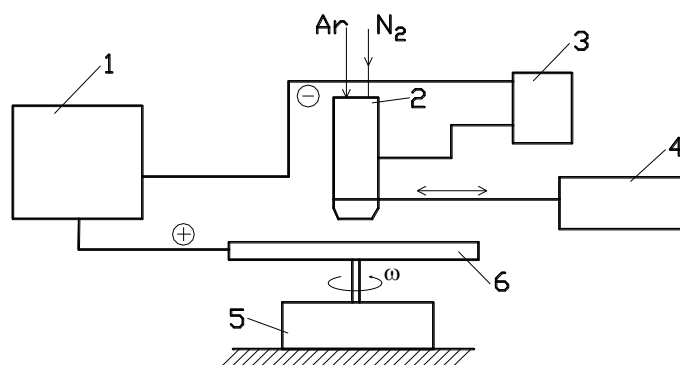


Рисунок 2 – Принципиальная схема установки плазменной закалки

Установка для плазменного поверхностного упрочнения (рисунок 2) состоит из 1 – силового источника питания; 2 – модернизированного плазмотрона; 3 – высокочастотного генератора; 4 – манипулятора; 5 – манипулятора; 6 – упрочняемой детали.

Из-за высокой скорости нагрева диффузионные процессы перестройки решетки объемноцентрированного куба доэвтектоидного феррита в решетку границентрированного аустенитного куба могут не заканчиваться на линии GS Fe3C-диаграммы и сдвигаться в область более высоких температур. Также может произойти микроплавление границы цементита и аустенита. В результате образуется структура, особенности которой определяются степенью завершенности процесса аустенизации. При достаточно высокой температуре нагрева или при относительно длительной выдержке возможно образование однородного аустенита. При меньших температурах помимо аустенита и мартенсита в структуре могут существовать нерастворившиеся карбиды [1].

При нагреве поверхности детали плазменной дугой прямого действия основной характеристикой термического цикла является максимальная температура, время пребывания этой точки выше температуры точки. Взаимозависимые скорости нагрева и охлаждения определяются комбинацией параметров режима обработки. Например, при прочих равных условиях максимальная температура цикла и время пребывания нагретого объема в аустенитной области уменьшаются с увеличением скорости движения дуги. Скорость охлаждения увеличивается [5].

Список цитированных источников

1. Лашенко Г. И. Плазменное упрочнение и напыление / Г. И. Лашенко. – Киев : Екотехнологія, 2003.
2. Rezayat, M. Overview of Surface Modification Strategies for Improving the Properties of Metastable Austenitic Stainless Steels / M. Rezayat [et al]. – Metals 2023, 13. – 1268.
3. Тюрин, Ю. Н. Плазменные упрочняющие технологии / Ю. Н. Тюрин. – Киев : Наукова думка, 2008. – 215 с.
4. Лещинский Л. К. Плазменное поверхностное упрочнение / Л. К. Лещинский [и др.]; под общ. ред. Л. К. Лещинского. – Киев : Тэхніка, 1990. – 109 с.
5. Safonov, E. N., Mironova, M. V. (2018). Plasma hardening hypereutectoid steel / E. N. Safonov, M. V. Mironova. – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 411, 012069.

ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ РЕШЕНИЯМ ФУНДАМЕНТОВ ПОД МНОГОЭТАЖНЫЕ ЗДАНИЯ НА НЕОДНОРОДНЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ

Сегодня в строительной отрасли одной из важнейших задач является повышение эффективности фундаментостроения путем снижения их материалоемкости, общей ресурсоемкости возведения и повышение их эксплуатационной надежности.

Как показывает практика, фундаменты многоэтажных зданий не только создают давление на грунтовое основание порядка 300–700 кПа, но и вовлекают в работу большой примыкающий массив грунта, для которого обычно характерна значительная неоднородность по простиранию и глубине.

Повышенная и неравномерная деформируемость грунтового массива, особенно при неравномерности передачи на него нагрузок, обычно приводит к развитию чрезмерных осадок, прогибов и кренов фундаментных конструкций. Зачастую характерно и существенное развитие зоны деформации грунтового массива вне пятна здания, что обуславливает относительно замедленную стабилизацию осадок.

Поэтому в строительной практике массово под многоэтажные здания проектируют плитные фундаменты (ПФ), представляющие собой сплошную железобетонную плиту повышенной жесткости толщиной 0,6 м и более.

Некоторые ПФ проектируются в виде балочных и безбалочных бетонных или железобетонных плит, при этом ребра балочных плит могут быть обращены как вверх, так и вниз. Обычно ребра жесткости располагаются как по осям зданий, так и в местах действия максимальных продольных и поперечных сил и изгибающих моментов. Места их пересечения служат для установки колонн каркаса.

Применяются и фундаментные плиты переменной толщины с утоньшением в области краев, т. е. тонкостенные площадные конструкции в виде вогнутых или выпуклых, по отношению к грунту, оболочек или плит с выпуклой поверхностью опирания [1].

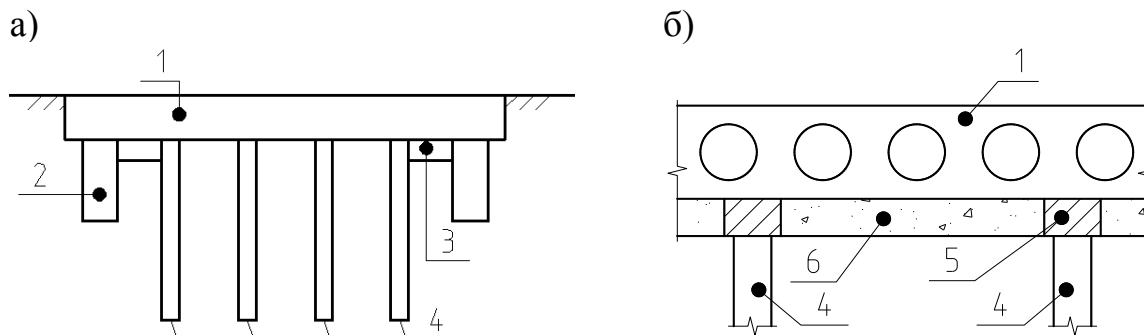
Однако наиболее эффективными являются плитно-свайные фундаменты (ПСФ), представляющие собой монолитную плиту, подкрепленную сваями того или иного типа и расположенными в виде свайного поля, лент, кустов или одиночных свай [2].

Рассматривая особенности работы ПСФ, следует отметить, что для повышения их несущей способности необходимо максимально включать в работу на отпор грунта плиту, что требует:

- непосредственного опирания плиты на грунтовый массив;
- наличия участков достаточно удаленных в плане от свай;

– определенной податливости свай, т. е. возможности осадки свай под нагрузкой.

Обеспечить эти условия позволяет устройство плитно-ребристых свайных фундаментов (ПРСФ) и фундаментов с раздельным сопряжением свай и плиты-ростверка (ПСРФ) (рисунок 1).



1 – плита-ростверк; 2 – периметральная вертикальная стенка;
3 – безопорные участки; 4 – свайное поле;

5 – полость заполненная низко модульным материалом; 6 – бетонная подготовка

Рисунок 1 – Конструктивная схема плитно-ребристого свайного фундамента (а) и с раздельным сопряжением свай и плиты-ростверка (б)

Обеспечению минимального уровня неравномерности вертикальных напряжений и соответственно неравномерности осадок может способствовать разнесенная схема размещения свайных рядов. Каждая из осей первого ряда свай расположенная со стороны поперечных стен, должна располагаться относительно их оси со смещением определяемым соотношением

$$y = (0,05..0,1) \frac{a}{d} \cdot H + d, \quad (1)$$

где a – расчетный шаг размещения свай, м; d – диаметр свай, м; H – толщина фундаментной плиты, м.

При этом сваи всех следующих рядов должны устанавливаться с меньшим шагом до линии, проходящей через центральную часть здания. Величину уменьшения шага необходимо назначать в соответствии с изменением вертикальных напряжений в зоне сопряжения несущих элементов с плитой-ростверком.

Конструктивно-технологической особенностью фундамента ПСРФ является то, что отдельные группы свай жестко объединены с плитой-ростверком, а все другие – через полости, заполненные низко модульными материалами. Такая схема объединения позволяет на начальном этапе включить в работу не только плиту-ростверк, но и часть свайных групп, расположенных в зоне максимальных усилий.

Для более существенной передачи нагрузки на плиту-ростверк и соответственно снижения осадки целесообразно рассматривать и вариант ПСФ с комбинацией коротких и длинных свай и с различной схемой их объединения – жесткая и полужесткая. При этом длинные сваи должны располагаться по осям

несущих элементов (стен) и объединяться с плитой-ростверком шарнирно с образованием зазора, равного половине осадки, допустимой для конструктивной схемы здания, заполняемого пористым легкосжимаемым материалом, а короткие – в промежутках между ними, объединяемые жестко с плитой-ростверком.

Не менее эффективны и ПСФ с пластической и силовой бетонной подготовкой (рисунок 2).

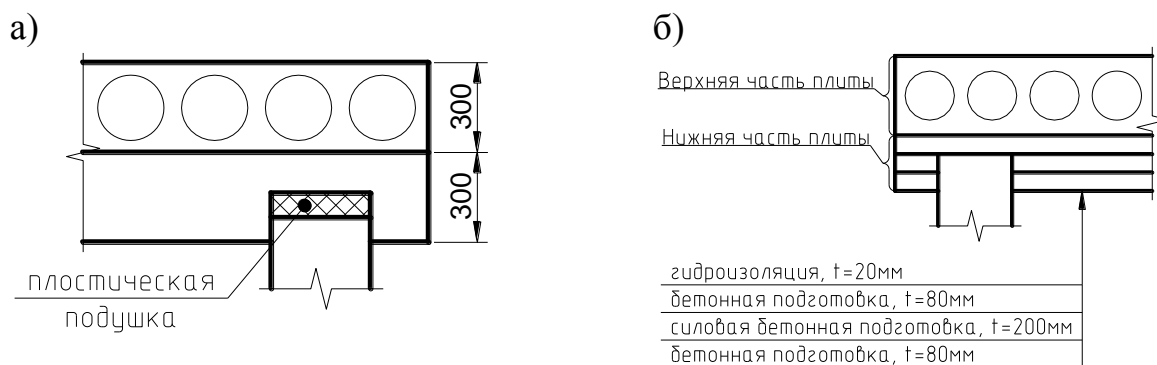


Рисунок 2 – Конструктивные схемы плитно-свайных фундаментов с пластической (а) и силовой бетонной подготовкой (б)

Расчет несущей способности и осадок ПСФ представляет собой решение задачи с пятью неизвестными: осадок фундамента, плиты и группы свай и доли нагрузок, передаваемых на основание сваями и плитой, с учетом условия, что предельное сопротивление грунта в основании, с выпором (сдвигом) его из-под подошвы, может быть реализовано только при осадках, значительно превышающих допустимые значения.

В европейских странах при расчетах и прогнозах несущей способности ПСФ используются двух- и трехуровневые факторы безопасности, которые являются аналогами коэффициентов надежности по нагрузке и грунту.

Большинство расчетных методов базируется на рассмотрении вертикального равновесия в предельном состоянии. Наиболее распространены методы Нордлунда, API, LCPC и «Империял колледж» [2, 3]. По методу Нордлунда, несущую способность по грунту, за счет сопротивления по боковой поверхности R_f и лобового сопротивления R_s , рекомендуется определять по зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} R_f &= K_s \cdot C_F \cdot \sigma'_v \cdot \sin \delta \\ R_s &= \alpha_T \cdot N_q \cdot \sigma'_v \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где K_s – коэффициент бокового давления грунта; C_F – поправочный коэффициент для K_s , при условии $\delta \neq \varphi$; σ'_v – максимальное давление на уровне нижнего конца сваи; δ – угол трения материала сваи по грунту; α_T – геометрический параметр сваи, равный $\alpha_T = f\left(\frac{Z}{b}\right)$; N_q – коэффициент несущей способности сваи; z – расчетная глубина погружения сваи; b – ширина сваи.

Метод API является полуэмпирическим и несущая способность сваи определяется зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} R_f &= \sigma'_v \cdot K_s \cdot \operatorname{tg} \delta \\ R_s &= \sigma_v(z) \cdot N_q \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $\sigma_v(z)$ – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи.

Метод LCPC позволяет определить несущую способность сваи на основании зависимости R_f от типа сваи, метода устройства и R_s . Метод «Империял колледж» базируется на величине радиального напряжения в зоне ниже конца сваи и

$$R_f = \sigma_{rf} \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (4)$$

где σ_{rf} – местное радиальное напряжение, равное

$$\sigma_{rf} = 0,029 \cdot R_s \left(\frac{\sigma_v}{P_a} \right)^{0,13} \cdot \left(\frac{h}{R} \right)^{-0,38}; \quad (5)$$

P_a – атмосферное давление и $P = 100$ кПа; R и h – радиус и длина заглубления сваи.

Метод «Империял колледж» является наиболее распространенным. Так как более полно учитывает грунтовые условия (расчетный диаметр фракций, форма и тип минеральных агрегатов, прочность материала), а также шероховатость поверхности свай и др.

Однако следует отметить, что если все эти предлагаемые конструкции и методы расчетов фундаментов в некоторой мере решают проблему допустимой осадки, то проблема выравнивания неравномерных осадок еще требует своего решения.

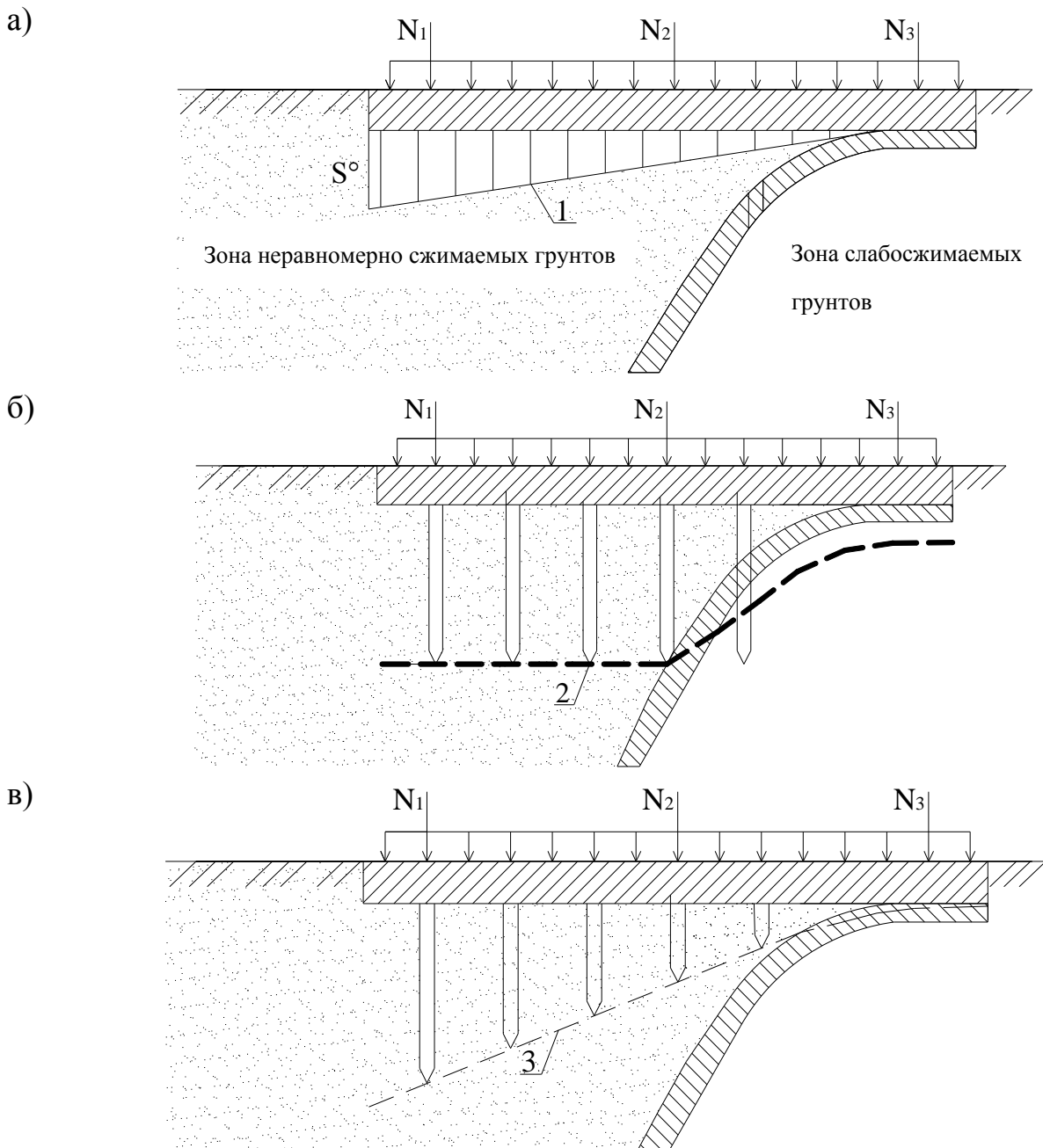
На рисунке 3 показаны особенности работы плитных (ПФ) и плитно-свайных фундаментов (ПСФ) на неоднородных грунтовых основаниях.

Анализ особенностей работы фундаментов ПФ и ПСФ позволяет отметить, что одним из определяющих этапов в проектировании является определение местоположения поверхности равной несущей способности, не только в плане и по глубине, но и поверхности с несущей способностью, обеспечивающей равномерную осадку, т. е. глубину погружения поддерживающих свай [4, 5].

Единственной основой для определения глубины погружения поддерживающих свай являются данные инженерно-геологических изысканий, дающие относительно достоверные сведения только в тех точках, где производился отбор проб или методами зондирования определялись расчетные характеристики грунтов. Во всех остальных точках грунтового полупространства свойства грунтов обычно устанавливаются интуитивно или методами математической интерпретации.

Поэтому решение проблемы фундаментостроения требует понимания, что не только неоднородное, но и любое грунтовое основание объективно является стохастической средой, т. е. пространственная неоднородность и стохастическая природа – это фундаментальное свойство любой грунтовой среды и для адекватного описания распределения его физико-механических свойств необходимо применение вероятностных методов, позволяющих разработать вероятностную модель грунтового основания, адекватно отражающую его неоднородность

и способную компенсировать неполноту знаний инженерно-геологических условий стройплощадки.



а – плитный; б – плитный на свайном поле;

в – плитно-свайный, обеспечивающий равномерную осадку;

1 – эпюра осадок; 2 – поверхность равной несущей способности;

3 – поверхность с несущей способностью, обеспечивающей равномерную осадку

Рисунок 3 – Особенности работы ПФ и ПСФ на неоднородных грунтовых основаниях

Выводы

Основными принципами совершенствования и оптимизации фундаментных конструкций под многоэтажные здания на неоднородных грунтовых основаниях на сегодня являются:

– снижение массы фундаментов и расхода материалов на единицу несущей способности;

- снижение трудоемкости устройства фундаментных конструкций;
- создание конструкций, позволяющих вовлечь в работу максимальный объем грунта и получить более равномерное напряженно-деформированное состояние массива грунта в основании фундаментов и снизить концентрацию напряжений на границе «фундамент-основание»;
- уточнение расчетных схем грунтовых оснований.

Список цитированных источников

1. Особенности конструирования плитных и плитно-свайных фундаментов под каркасные и крупнопанельные многоэтажные здания / П. С. Пойта [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 1 (104) : Строительство и архитектура. – С. 58–64.
2. Плитно-свайные фундаменты как способ решения сложных геотехнических проблем / Ю. Р. Оржеховский [и др.] // Академ. вестник УралНИИпроекта, РААСН. – № 4 : Строительные науки. – 2013. – С. 83–86.
3. Бартоломей, Л. А. Повышение эффективности способов проектирования массивных плитных и свайных фундаментов / Л. А. Бартоломей, И. В. Глушков, А. Г. Кузнецов // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2006. – С. 48–53.
4. Шведовский, П. В. Пути повышения энергетической эффективности конструктивно-технологических решений в фундаментостроении / П. В. Шведовский, Д. Н. Клебанюк, П. С. Пойта / Инновационные решения проблем экономики знаний Беларуси и Казахстана : сборник материалов научно-практической конференции / Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2016. – 136–137.
5. Клебанюк, Д. Н. Особенности оптимизации энергетической эффективности инженерных решений при выборе проектного варианта плитно-свайных фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях / Д. Н. Клебанюк, П. С. Пойта, П. В. Шведовский // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : материалы научного семинара. – Брест : БрГТУ, 2017. – С. 43–47.

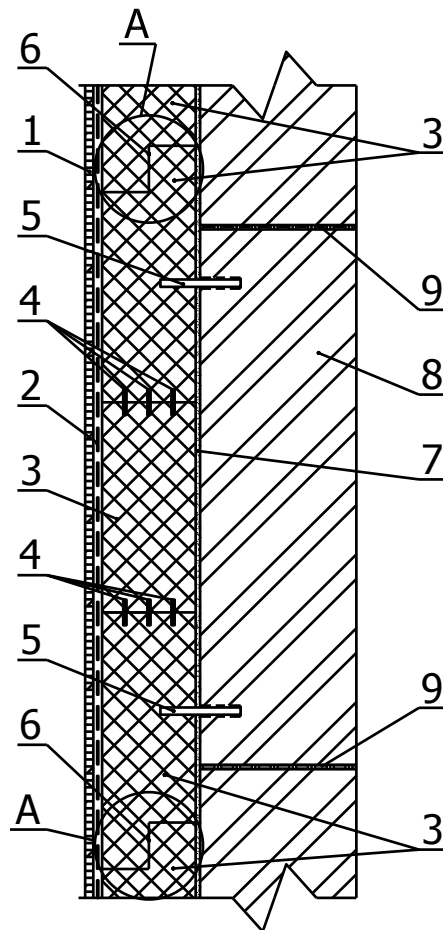
УДК 692.232.44

Вашкевич Р. И.

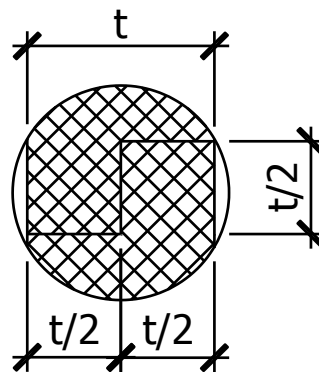
Научный руководитель: к. т. н., доцент Черноиван Н. В.

ОБЛИЦОВОЧНАЯ ПАНЕЛЬ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЛЯ УТЕПЛЕНИЯ ФАСАДОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Сегодня в Республике Беларусь эксплуатируется около 120 млн м² крупнопанельных жилых зданий, построенных по нормативам, действующим до 1994 года, когда сопротивление теплопередаче наружных стен не превышало $R = 1,0 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$. Обследования технического состояния таких зданий свидетельствуют о том, что после длительной эксплуатации жилищный фонд не отвечает современным требованиям по теплотехническим характеристикам [1]. Высокий уровень энергопотребления на отопление объясняется низким сопротивлением теплопередаче ограждающих конструкций эксплуатируемых жилых зданий. Авторами публикации для снижения трудоемкости производства работ по тепловой реабилитации фасадов эксплуатируемых крупнопанельных зданий предлагается применить теплоизоляционную облицовочную фасадную панель заводского изготовления (рисунок 1).



Узел А



1 – декоративно-защитный слой; 2 – армирующий слой; 3 – плитный теплоизоляционный материал; 4 – стеклопластиковый штифт; 5 – стеклопластиковый анкер-фиксатор; 6 – стык «фолдинг»; 7 – полимерная клеевая композиция; 8 – утепляемая поверхность (сборная ж/б стеновая панель); 9 – стык между стеновыми панелями

Рисунок 1 – Теплоизоляционная облицовочная фасадная панель

Предлагаемая теплоизоляционная облицовочная фасадная панель состоит из плитных теплоизоляционных материалов заводского изготовления 3, на наружной поверхности которых выполнены в заводских условиях декоративно-защитный слой 1 (включает штукатурку и окраску) и армирующий слой 2. Плитные теплоизоляционные материалы 3, соединенные между собой в заводских условиях с помощью стеклопластиковых штифтов 4 диаметром 10 мм,

установленных с шагом 75 мм в панель размерами, обеспечивающими полную теплоизоляцию и герметизацию вертикальных и горизонтальных стыков 9 на утепляемых поверхностях стеновой панели 8 эксплуатируемых крупнопанельных зданий. По периметру панели выполнены односторонние пазы шириной и глубиной равной половине толщины слоя плитных теплоизоляционных материалов.

Теплоизоляционная облицовочная фасадная панель имеет стеклопластиковые анкера-фиксаторы 5, позволяющие существенно снизить трудоемкость установки панели в проектное положение и последующие ее закреплением к утепляемой поверхности без установки строительных лесов по всему периметру здания.

Сборка, установка и закрепление панелей в проектное положение осуществляется в следующей технологической последовательности.

В специализированных цехах в плитах теплоизоляционного материала заводского изготовления 3, образующих контур теплоизоляционной облицовочной фасадной панели, выполняют односторонние пазы шириной и глубиной равной половине толщины слоя плитных теплоизоляционных материалов. Затем заготовки плитных теплоизоляционных материалов 3 соединяют между собой с помощью стеклопластиковых штифтов 4 в панель размерами, обеспечивающими полную теплоизоляцию и герметизацию вертикальных и горизонтальных стыков 9 на утепляемых поверхностях стеновой панели 8 эксплуатируемых крупнопанельных зданий. После этого на наружной поверхности панели выполняют армирующий слой 2 и декоративно-защитный слой 1 (включает: штукатурку и окраску).

На строительной площадке на утепляемой поверхности стеновой панели 8 с помощью шаблона размечают места размещения установочных стеклопластиковых анкеров-фиксаторов 5 и сверлят под них отверстия (шпур). По такому же шаблону со стороны внутренней поверхности панели выполняют отверстия, в которые закрепляются анкера-фиксаторы 5. Крепление панелей к утепляемой поверхности стеновой панели 8 выполняется на полимерном клеевом составе 7, без применения дополнительных механических крепежных элементов (дюбелей-анкеров), в полном соответствии с технологией, рекомендуемой [2].

Для того, чтобы на утепляемой поверхности в процессе эксплуатации не появились «мостики» холода в процессе монтажа теплоизоляционных облицовочных фасадных панелей соединение стыков «фолдинг» 6 решается с помощью фасадного клея-герметика СЕММІХ, который наносят с помощью валика (кисти). Этот клей удобен в применении, может наноситься в широком диапазоне температур (в том числе, при отрицательных температурах и на влажных поверхностях), быстро отверждается под влиянием влаги из воздуха.

Технико-экономический эффект применения предлагаемого конструктивно-технологического решения утепления фасадов эксплуатируемых крупнопанельных зданий заключается в снижении трудоемкости подготовительных работ и основных технологических процессов, повышении теплотехнических характеристик утепленного фасада за счет применения теплоизоляционных облицовочных фасадных панелей заводского изготовления, имеющих геометрические размеры обеспечивающие полную теплоизоляцию и герметизацию вертикальных и горизонтальных стыков на фасадах крупнопанельных зданий, а также

за счет применения стыка типа «фолдинг» полностью исключить появление «мостиков» холода в процессе эксплуатации рекомендуемой системы утепления фасадов панельных зданий.

Список цитированных источников

1. Пилипенко, В. М. Анализ рынка жилищного строительства / В. М. Пилипенко. – ПРООН/ГЭФ. Проект № 00077154 : Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь. – Минск, 2018. – 18 с.
2. Технологическая карта на устройство легкой штукатурной системы «Илмакс» : ТК-100289293.1211-2020. – Введ. 03.08.2020. – Минск : Стройкомплекс, 2020. – 174 с.
3. Пилипенко, В. М. К вопросу создания и эксплуатации легких штукатурных систем зданий / В. М. Пилипенко, В. Н. Черноиван, Н. В. Черноиван // Архитектура и строительство. – 2012. – № 1. – С. 62–67.
4. Черноиван, В. Н. Техническое состояние конструктивных слоев утепленных наружных стен эксплуатируемых зданий / В. Н. Черноиван, В. Г. Новосельцев, Н. В. Черноиван // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 4. – С. 45–48.
5. Черноиван, В. Н. Тепловая реабилитация фасадов эксплуатируемых панельных зданий / В. Н. Черноиван, Н. В. Черноиван // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 6. – С. 511–516.

УДК 725.91

Волынец А. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Густова А. Ю.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСТАВОЧНЫХ ПРОСТРАНСТВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ

В течение последних десяти лет искусство выставочной экспозиции проявило себя как самостоятельный аспект архитектурного проектирования. Данный процесс обусловлен изменением потребностей общества в потреблении визуальной информации.

Создание выставочной экспозиции – это комплексное формирование «концептуально» обусловленной среды, создающей образ пространственно-предметных связей согласно сценарию выставки. Элементы и приемы формирования выставочных экспозиций постоянно меняются, потому что необходимо ориентироваться на преобладающий на современном этапе тип восприятия, понимания и прочтения информации.

Выставочные пространства формируются с учетом нескольких ключевых факторов.

Специализация экспозиции предполагает соответствие выставочного пространства тематике и целям выставки. Например, для художественной выставки оно может быть более эстетичным и креативным, а для промышленной выставки – функциональным и информативным.

Для достижения целостного вида и эстетики экспозиция должна иметь эстетичный внешний вид с целостным дизайном. Это означает корректное расположение стендов, правильный выбор материалов и декоративных элементов.

Фирменный стиль компании должен быть соблюден в выставочном пространстве, отражая ее имидж и ценности.

Удобство для посетителей является одним из важных аспектов, пространство должно быть удобным и комфортным для перемещения. Планирование начинается с правильной расстановки стендов и участников экспозиции, при этом проходы не должны быть уже двух метров и не должны заканчиваться тупиком.

Существуют различные типы стендов: открытые, закрытые и комбинированные. Открытые стенды могут привлечь больше посетителей, в то время как закрытые могут скрыть продукцию от конкурентов.

Основной проблемой значительной части современных музеев, как правило, является несовременность и низкий уровень интерактивности форм музейной работы, слабое информационное освещение в региональных СМИ. Современным музеям нужно искать пути работы с аудиторией, ориентировать работу не только на случайного посетителя, но и на постоянного музейного зрителя. Музеи приобретают и всё больше берут на себя функции не только информаторов, о событиях современного искусства и поразительных открытий истории прошлого.

При разработке музейно-выставочных пространств дизайнер должен учитывать множество аспектов, включая оформление интерьера музея, использование произведений искусства, организацию экспозиции, применение технических средств и оборудования, разработку маршрутов для посетителей, создание комфортных условий для осмотра экспозиции, формирование эмоционального настроения у посетителей, обучение экскурсоводов и решение проблем, связанных с организацией "музейных сеансов".

На сегодняшний день выставка – это комплексная контактная среда, формируемая различными средствами подачи информации. Результат информационного воздействия выставки возникает в процессе непосредственного контакта – общения экспонентов и посетителей. Выставочное пространство (прямоугольное или квадратное, узкое или просторное, низкое или с высокими потолками) диктует свои правила, имеет свою специфику. Дизайнер должен правильно определить приёмы, уместные в предлагаемом пространстве, с его индивидуальными характеристиками.

Современные выставочные практики включают разнообразные типы мест для выставок

Уличные выставки. Они проводятся на открытых площадках, например, на улицах, в парках или на площадях. Уличные выставки могут быть интерактивными и привлекать случайных прохожих.

Киоски и контейнеры. Эти компактные пространства используются для небольших выставок, продажи товаров или демонстрации продукции. Киоски и контейнеры могут быть мобильными и удобными для перемещения.

Галереи и художественные институции. Галереи предоставляют более формальное и специализированное пространство для художественных выставок. Они могут быть частью музеев, галерей или независимых художественных центров.

Художественная выставка является важным элементом современного культурного процесса, выполняя разнообразные культурно-эстетические (актуализация современного искусства, актуализация художественного наследия прошлого) и социальные (организация культурного досуга) функции, определяя черты

художественного сознания эпохи и эстетические предпочтения. Выставка, как выражение современных эстетических и общекультурных факторов, утвердилась в статусе самостоятельного и самоценного жанра творчества. Типология и направленность выставочной деятельности во многом зависят от общекультурной ситуации, изменений социального заказа общества, а также от общих художественных и архитектурных концепций эпохи. Выставка является эффективным «полигоном» для «испытания» концептуальных решений и новых технологий.

Живые экспозиции. Это формат, в котором посетители могут взаимодействовать с экспонатами, например прикоснуться к предметам или участвовать в интерактивных мероприятиях.

Отчетные выставки. Они предназначены для демонстрации достижений, результатов и исследований. Это может быть научная конференция, бизнес-семинар или выставка новых продуктов.

Современные выставочные практики включают разнообразные типы мест для выставок, в том числе различные вариации экспозиций

Условно консервативные экспозиции

В таких экспозициях посетителям запрещено трогать экспонаты. Это обычно применяется в музеях и галереях, где сохранность предметов является приоритетом.

В области музейного дела существуют два понятия: «выставка» и «экспозиция». Обе эти формы показа музейных объектов в пространстве регулируются своими особыми правилами. Сегодня под экспозицией понимается комплекс объектов и материалов, объединенных общей идеей (будь то научная или художественная). Выставки представляют собой наиболее динамичную сторону музейной деятельности, способствующую развитию основной экспозиции на различных этапах жизни музея. Также выставка может быть временной, когда на определенный период времени выставляется определенная коллекция объектов. В отличие от экспозиции, которая является стабильной и консервативной, выставка постоянно меняется и развивается.

Экспозиции с элементами интерактива

Здесь посетители могут взаимодействовать с экспонатами. Например, они могут прикоснуться к предметам, слушать звуки или даже участвовать в интерактивных мероприятиях.

Когда человек взаимодействует с музейным экспонатом, он прикасается к прошлому своей нации, пытаясь заполнить пробелы истории и культуры через представленные в музейной экспозиции предметы. Экспонат является источником информации о явлениях культуры, природы и исторических событиях. Музейный объект способен отражать реальность, так как он материален и вещественен. Он является следом реальности, который полностью погружает нас в прошлые или происходящие события. Важным аспектом здесь является значение самой вещи, так как именно она передает информацию о культурно-историческом опыте посетителям.

Перформансы

Это форма выставки, в которой посетители становятся частью произведения и взаимодействуют с ним. Перформансы могут включать в себя действия, движения, звуки и даже активное участие посетителей. Когда речь заходит о значении вещи и об актуализации ее культурно-исторического смысла в музее,

в этот процесс включается механизм художественной коммуникации. Она характеризуется как своеобразный диалог между автором и читателем, слушателем или зрителем, опосредуемый произведением искусства. В коммуникацию включаются как активные компоненты само произведение и воспринимающая его аудитория. Один из важных аспектов, который стоит принять во внимание при упоминании художественной коммуникации – это возможность и способность человека читать «текст». «Музейный язык» по своей природе принадлежит к знаково-предметным языкам культуры, генетически восходящим к древнейшему «предметному» способу передачи информации путем демонстрации конкретного предмета и к возникшему на его основе предметно-визуальному, предметно-акустическому, предметнообонятельному, предметно-тактильному способам связи. Неотъемлемой частью «художественной коммуникации» является «музейная коммуникация». Именно это понятие является ключевым в отношениях «посетитель» – «предмет».

Заключение

Современный этап развития выставочной сферы характеризуется ростом количества разнообразных тематических экспозиций, а также активно идущим процессом реконструкции существующих выставок и музеев. Значительным отличием данного процесса от стандартной музейной реэкспозиции является необходимость полного переосмысления роли информации и ее восприятия в культурном контексте каждого города.

Сегодня каждый выставочный фонд ищет адекватные формы интерпретации и представления своих собраний для публики, а также новых методов взаимодействия с аудиторией.

Формирование выставки не сводится лишь к модернизации существующей экспозиции за счет привлечения дизайнеров и использования современных технических средств. Ее пространственная организация включает совершенствование всей системы визуально-вербальных коммуникаций для создания адекватного информационного образа, соответствующего потребностям и запросам индивида.

Следовательно, основная тенденция в формировании выставочных экспозиций – это организация такой информационно-экспозиционной среды, цель которой – восприятие экспозиции более индивидуальной и адресной каждому посетителю, интегрировать культурно-научный потенциал выставки с потребностями современного общества.

Список цитированных источников

1. Стягов, К. Интерактивные системы на выставках [Электронный ресурс] / К. Стягов, В. Халтурин. – Режим доступа: <https://expodinamika.ru/articles/interaktivnyye-sistemy-na-vystavkakh->. – Дата доступа: 10.04.2024.

2. Проектирование музейно-выставочных пространств в системе профессионального образования дизайнера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22988>. – Дата доступа: 10.04.2024.

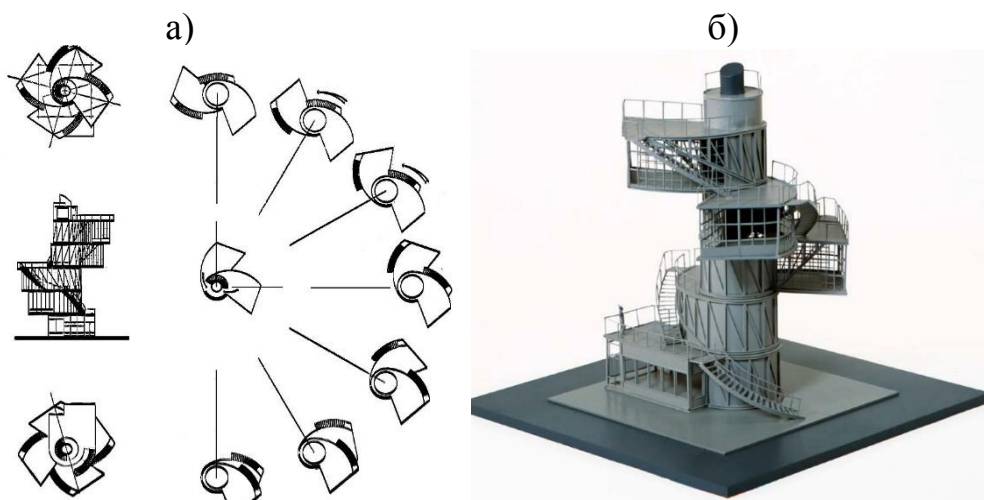
3. Выставочное пространство как явление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hsedesign.ru/books/project/e021a8ef351c48d9b77f6c955068eee5>. – Дата доступа: 10.04.2024.

4. Виды выставочных мероприятий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://expodinamika.ru/articles/vidy-vystavochnyh-meropriyatiy-i-osobennosti-ih-provedeniya->. – Дата доступа: 10.04.2024.

ПРОТОТИП СЕГМЕНТА КИНЕТИЧЕСКОГО ФАСАДА

Кинетическая архитектура (от греческого слова *κίνησις* – «движение») – это своего рода искусство проектирования зданий таким образом, чтобы элементы конструкции двигались относительно друг друга, не нарушая целостности [1]. Визуальная трансформация не скрыта во внутренних инженерных коммуникациях, она доступна для зрителя.

Здания со сложной кинетической системой появились только в XX веке. Ключевой стала книга "Архитектурные фантазии: 101 композиция" Якова Чернихова, где рассматривались технические возможности подвижных зданий. Первыми экспериментами проектирования подвижных зданий являются башня III Интернационала Владимира Татлина, здание газеты "Ленинградская правда" Константина Мельникова (рисунок 1а, б) [2].



а) – вид сверху, вращение этажей, фасад; б) – 3D-макет
Рисунок 1 – Концептуальные чертежи и макет здания газеты

Кинетические элементы в архитектуре используют по нескольким причинам. Первая – это преобразование природной энергии (солнечный свет, воздушные потоки) в движущую силу архитектуры. Последними примерами таких проектов являются: восемь зелёных башен Винсента Каллебо, Bio Intelligent Quotient House в Гамбурге, параметрические башни VERTO и так далее [3,4].

Во-вторых, потребность человека в изменениях.

В-третьих, зрелищность таких строений. К наиболее ярким и удивительным проектам можно отнести институт арабского мира от Жана Нувеля (Франция, Париж), постройка «Burke Brisesoleil» в художественном музее Милуоки, художественный центр The Shed / The Bloomberg Building (Diller Scofidio + Renfo. Rockwell Group, Нью-Йорк, США), Modulofts – здание с выдвигаемыми стенами (Fouad Samara Architects, Бейрут, Ливан) (рисунок 2), павильон MegaFace (Сочи, Россия) и многие другие [5, 6].



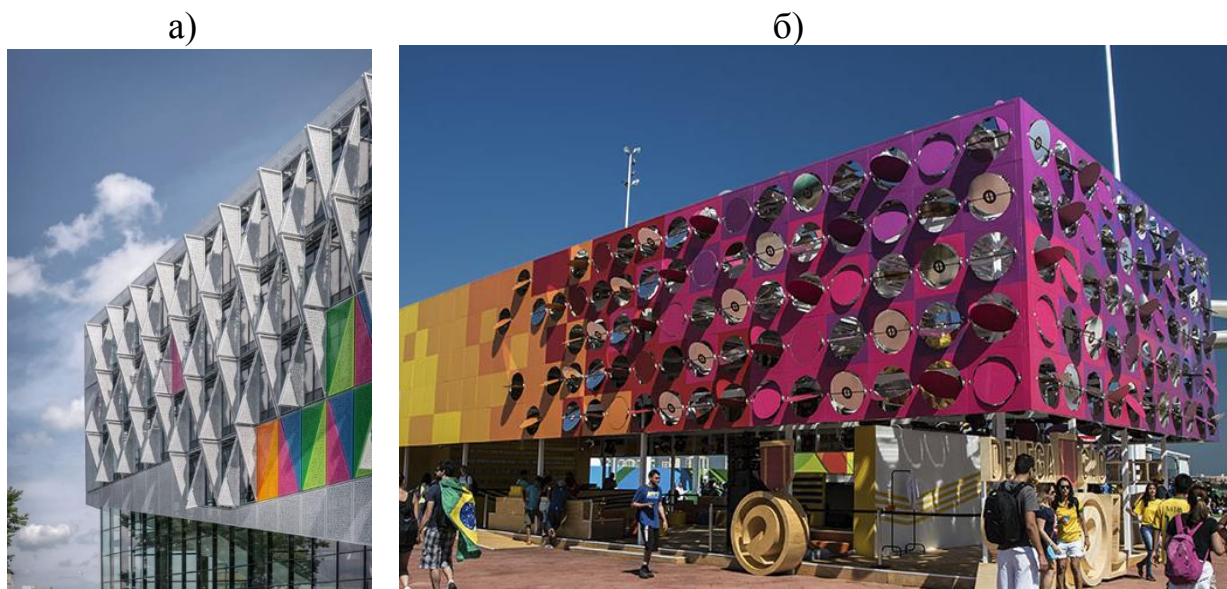
Рисунок 2 – Здание с выдвижными стенами

К началу XXI века сформировались несколько типов кинетической архитектуры:

- динамичные функциональные строения;
- здания-трансформеры;
- динамичные фасады;
- комбинированный тип.

Динамичные функциональные строения способны трансформироваться в зависимости от своего назначения. Примерами такого рода сооружений чаще являются разводные мосты (Веерный мост в Лондоне, Knight Architects) или здания с выдвижной крышей (стадион «Фишт», Сочи, Деймон Лавель и Poroulous). Здания-трансформеры меняют свою внешнюю форму, например стеклянная теплица Glasshouse (спроектирована Heatherwick Studio, поместье Woolbeding), Ballet Mecanique (Manuel Herz Architects, Цюрих, Швейцария). Динамичные фасады создают движение на поверхности здания: павильон One Ocean (SOMA для выставки EXPO 2012), университет Южной Дании (Henning Larsen Architects) (рисунок 3а), постройка The Dancing Pavilion для Олимпиады-2016 (Estudio Guto Requena, Рио-де-Жанейро, Бразилия) (рисунок 3б) [7]. Комбинированный тип сочетает все вышеперечисленные виды кинетической архитектуры в сочетании с энергоэффективными достижениями науки и техники.

Кинетические фасадные системы подстраиваются под индивидуальные требования заказчиков. Преимуществами таких фасадов являются: улучшение инсоляционных свойств, организация естественной вентиляции, дополнительная защита от шума, способность самостоятельно вырабатывать энергию для автономного питания. Кинетические структуры могут использоваться в качестве перегородок в интерьере, существовать как облицовка стены или уникальная инсталляция в помещении. Также могут создавать уникальный многофункциональный дизайн как решение для зон с ограниченным пространством. Кинетические структуры разделяют по типам трансформаций на скользящие, складные, вращательные, открывающие-закрывающие. К реагирующим компонентам относятся сетевые датчики и приводы, отслеживающие параметры окружающей среды и автоматизацию управления функциональных элементов здания.



а) – университет Южной Дании; б) – постройка *The Dancing Pavilion*
Рисунок 3 – Здания с динамическими фасадными системами

Множество проектов остаются нереализованными за счёт их дороговизны и сложности воплощения, но, несмотря на это, кинетическая архитектура продолжает становиться всё более востребованной и распространённой. Внедрение кинетических элементов в архитектуру общественных пространств предоставляет возможность сделать их более доступными, интерактивными, инклюзивными и удобными для пользователей. Используя инновационные технологии, в здания с давнего времени включали движущиеся элементы. Эти простые вмешательства, такие как эскалаторы, лифты, автоматические двери и многие другие, проложили путь к созданию различных кинетических структур, направленным на архитектурно-художественное наполнение городов. Кинетическая архитектура не просто вызывает интерес и восторг, а побуждает людей к дальнейшему взаимодействию с их окружением. Возможность взаимодействовать и манипулировать сообщает пользователям о том, что их потребности и желания вносят существенный вклад в архитектурную среду их сообществ. Потенциал кинетических структур огромен, а с применением их в архитектуре осуществляются самые необычные и смелые идеи, соединяющие в себе грамотную проектировку, новые инженерные решения и привлекательный внешний вид.

Разработка

Создание прототипа началось с изучения уже реализованного опыта и разработки концепции фасада, предназначенного для достижения архитектурно-художественной выразительности как экстерьера, так и интерьера.

Идея разработки заключалась в создании фасада, который разнообразит многоэтажные типовые панельные здания, создаст инсоляционную защиту и принесёт коммерчески высокоэффективный вид зданию. Выбирая из типов фасадов, кинетический показался наиболее интересным для реализации в Республике Беларусь.

Каркас прототипа кинетического фасада был создан с использованием преимущественно диагональной структуры. Легкие разбирающиеся конструкции применяются для монтажа основной внешней части здания. Они в свою очередь

состоят из опорных и несущих элементов, вместе образующих прочный каркас, способный противостоять вертикальным и горизонтальным нагрузкам, воздействующим на разных этапах службы. Алюминиевая конструкция кинетического фасада характеризуется относительно небольшим весом, гибкостью планировочных изделий, качеством, прочностью и долговечностью.

Для создания наиболее реалистичной модели фасада применялись программы для 3D-моделирования (в данном случае Rhinoceros со встроенными функциями Grasshopper (рисунок 4)). Программа позволила создать модель элемента, ориентируясь на уже готовый каркас.

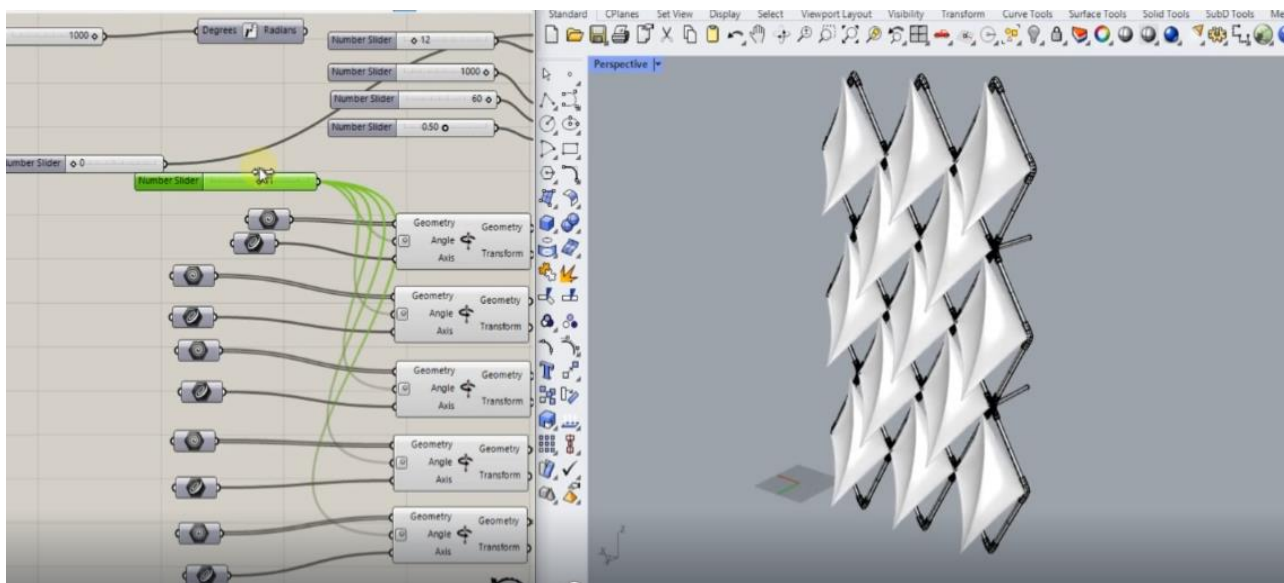
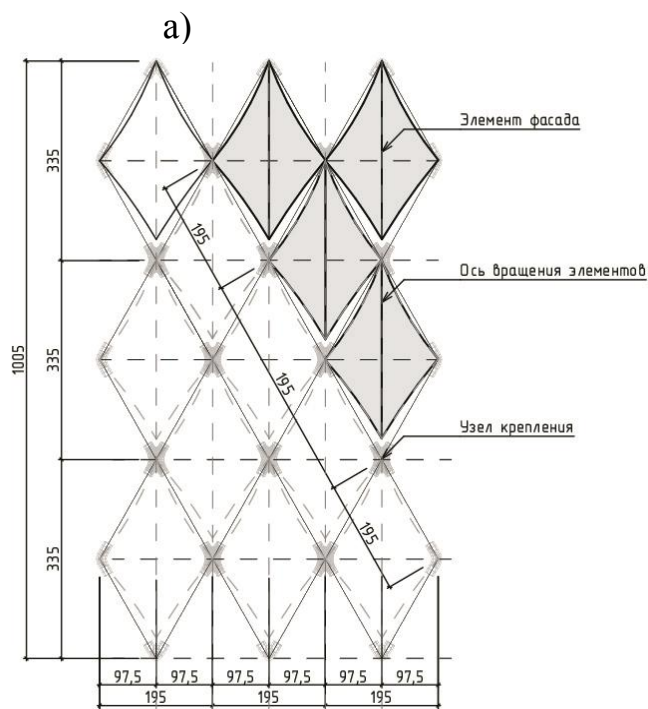


Рисунок 4 – 3D-модель сегмента фасада в Rhinoceros, Grasshoper

Кинетический фасад управляется автоматически при помощи сенсорных датчиков. Специальный фоторезистор реагирует на освещение и отправляют данные об изменении окружающего освещения системе управления зданием. Система запускает электроприводы, установленные в положении, позволяющем приспособливаться к меняющемуся дневному свету. Сегмент движется, меняя угол попадания света, тем самым оптимизируя баланс между естественным и искусственным освещением. Фасад может управляться вручную исходя из потребностей пользователей. Общее энергопотребление минимально, ведь элементы хоть и перемещаются, но остаются в одном фиксированном положении в течение нескольких часов. Элементы могут поворачиваться, открывая, закрывая частично или полностью остеклённые части здания.

Для создания полноценного работающего прототипа было создано множество черновых макетов. Самые первые черновые макеты имели самые различные назначения. Например: подбор нужной формы сегментов, расположение сегментов в пространстве относительно друг друга, несколько рабочих вариаций несущего каркаса, прототип крепления сегментов в каркасную систему, разработка рычажной системы. Каждый из этих этапов проходил через несколько стадий, в которых выявлялись и исправлялись проблемы и недочёты (рисунок 5а, б).



*а) – чертёж прототипа каркаса с предполагаемой расстановкой движущихся сегментов;
 б) – рабочий прототип макета фасада*

Рисунок 5 – Разработка прототипа сегмента фасада

В масштабном производстве такой кинетический фасад может быть реализован при помощи различных композитных материалов, таких как полимерная глина, металлические пластины и другие (рисунок 6).



Рисунок 6 – Кинетическая фасадная система

Заключение

По данным произведённого анализа был разработан действующий макет кинетического сегмента, предназначенный для достижения архитектурно-художественной выразительности как экстерьера, так и интерьера.

Главные качества – универсальность и адаптируемость к различным условиям. Прямая связь между природными явлениями и программируемыми модулями позволяет экологически грамотно использовать фасад зданий, так как добавляет многофункциональность к проектируемому предмету. Применение

специальных датчиков и исполнительных механизмов в элементы позволит им трансформироваться и взаимодействовать со своими пользователями и окружающей средой. Поскольку сфера программирования развивается, внедрение кода будет создавать куда больше возможностей в создании абсолютно разных и неповторимых вариаций данной разработки. Здания с динамичными фасадными системами являются яркими, привлекательными объектами, а программируемые автономные системы помогут контролировать микроклимат помещений для более удобного пользования.

Список цитированных источников

1. Dynamic architecture [Электронный ресурс] // TheDhaus.com [website]. – Режим доступа: <https://www.thedhaus.com/portfolio/the-dynamic-dhaus/dynamic-architecture/>. – Дата доступа: 10.04.2024.
2. The impact of a kinetic façade on the lighting performance and energy efficiency of a public building: the case of Dubai frame [Электронный ресурс] // Tandfonline.com [website]. – Режим доступа: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14786451.2023.2248514>. – Дата доступа: 10.04.2024.
3. Kinetic façade as a tool for energy efficiency [Электронный ресурс] // Researchpublish.com [website]. – Режим доступа: <https://www.researchpublish.com/upload/book/-KINETIC%20FACADE%20AS%20A%20TOOL-8194.pdf>. – Дата доступа: 10.04.2024.
4. Parametric Façade In Architecture [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gosmartbricks.com/parametric-facade-in-architecture-7-things-for-your-interests/>. – Дата доступа: 10.04.2024.
5. Кинетические жилые здания – будущее начинается сегодня [Электронный ресурс] // Cyberleninka.ru [website]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kineticheskie-zhilye-zdaniya-buduschee-nachinaetsya-segodnya/viewer>. – Дата доступа: 10.04.2024.
6. Карась, В. Я. Кинетические фасады / В. Я. Карась // Наука через призму времени. – 2018. – № 10.
7. VERTO Air Purification Tower / Studio Symbiosis [Электронный ресурс] // ArchDaily.com [website]. – Режим доступа: <https://www.archdaily.com/1000839/verto-air-purification-tower-studio-symbiosis>. – Дата доступа: 10.04.2024.

УДК 624.014

Дробыш А. И.

*Научный руководитель: к. т. н., доцент, заведующий кафедрой
строительных конструкций Шурин А. Б.*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Расчет болтовых соединений металлических конструкций имеет решающее значение для обеспечения безопасности и надежности конструкций. С развитием технологий и появлением более сложных конструкций возникла необходимость в совершенствовании методов расчета болтовых соединений.

Соединения на болтах на сегодня является основным способом сопряжения элементов. Такой способ позволяет быстро и точно производить монтаж с минимальным набором оборудования.

Традиционные методы расчета болтовых соединений часто основаны на упрощающих предположениях и могут не учитывать все факторы, влияющие на

поведение соединения. Это может привести к недооценке или переоценке прочности соединения, что может поставить под угрозу безопасность конструкции.

Существует несколько подходов к совершенствованию расчета болтовых соединений:

- Учет дополнительных факторов. Улучшение методов расчета путем учета дополнительных факторов, таких как пластическое поведение материала, нелинейность и динамические нагрузки.

- Использование более точных моделей. Разработка более точных математических моделей, которые лучше описывают поведение болтовых соединений под нагрузкой.

- Применение численных методов. Использование численных методов, таких как метод конечных элементов (МКЭ), для анализа сложных соединений и учета геометрических и физических нелинейностей.

- Экспериментальные исследования. Проведение физических испытаний для калибровки и проверки численных моделей и предоставления данных для разработки новых расчетных методов.

Совершенствование расчета болтовых соединений имеет ряд преимуществ, в том числе:

- Повышение точности и надежности. Более точные методы расчета обеспечивают более точную оценку прочности и надежности болтовых соединений.

- Оптимизация конструкции. Уточненные расчеты позволяют оптимизировать конструкцию и уменьшить использование материалов, что приводит к экономии средств.

- Улучшение безопасности. Более точный расчет снижает риск отказов болтовых соединений и повышает общую безопасность конструкций.

Совершенствование расчета болтовых соединений металлических конструкций является непрерывным процессом, направленным на повышение точности, надежности и безопасности инженерных сооружений.

Расчет болтовых соединений на срез по EN 1993-1-8 [1] выполняется как по площади брутто (1), так и по площади нетто (2):

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}; \quad (1)$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_S}{\gamma_{M2}}, \quad (2)$$

где A – площадь сечения болта брутто;

A_S – площадь сечения болта нетто;

f_{ub} – предел прочности болта;

γ_{M2} – частный коэффициент;

α_v – понижающий коэффициент (если резьба проходит через плоскость среза то $\alpha_v = 0,5$, иначе 0,5 или 0,6, в зависимости от класса прочности болта).

В то же время расчет болтовых соединений на срез по СП 5.04.01-2021 или СП 16.13330 выполняется только по площади брутто (3):

$$N_{bs} = f_{bs} \cdot A_b \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c, \quad (3)$$

где f_{bs} – расчетное значение прочности одноболтовых соединений на срез;
 A – площадь сечения стержня болта;
 γ_b – коэффициент условий работы болтового соединения;
 γ_c – коэффициент условий работы.

Расчет болтовых соединений по американским нормам может быть выполнен по нормам ANSI/AISC 360-05 [3], в которых изложены два метода расчета: метод допускаемых напряжений (ASD) – традиционный метод расчета металлических конструкций в США и метод частных коэффициентов безопасности (LRFD). Для целей данной статьи мы воспользуемся положениями [3] для определения расчетного сопротивления срезу одного болта ϕR_u (или его резьбовой части) на основе метода частных коэффициентов безопасности:

$$\phi R_u = 0.75 \cdot F_{nv} \cdot A_b, \quad (4)$$

где F_{nv} – напряжение среза, определяемое по таблице J3.2 [3];

A_b – номинальная площадь поперечного сечения гладкой части болта.

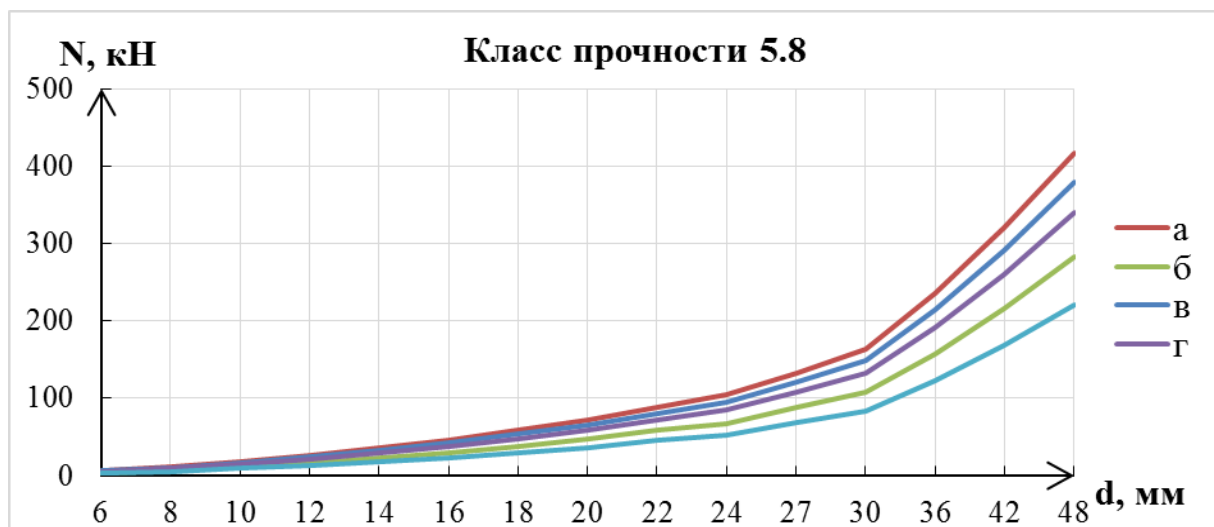
Напряжение среза болта (за исключение болтов A307, A325 и A490, произведенных по американским стандартам) определяется по выражениям:

– плоскость среза проходит через гладкую часть болта $F_{nv} = 0.5F_u$;

– плоскость среза проходит через резьбовую часть болта $F_{nv} = 0.4F_u$,

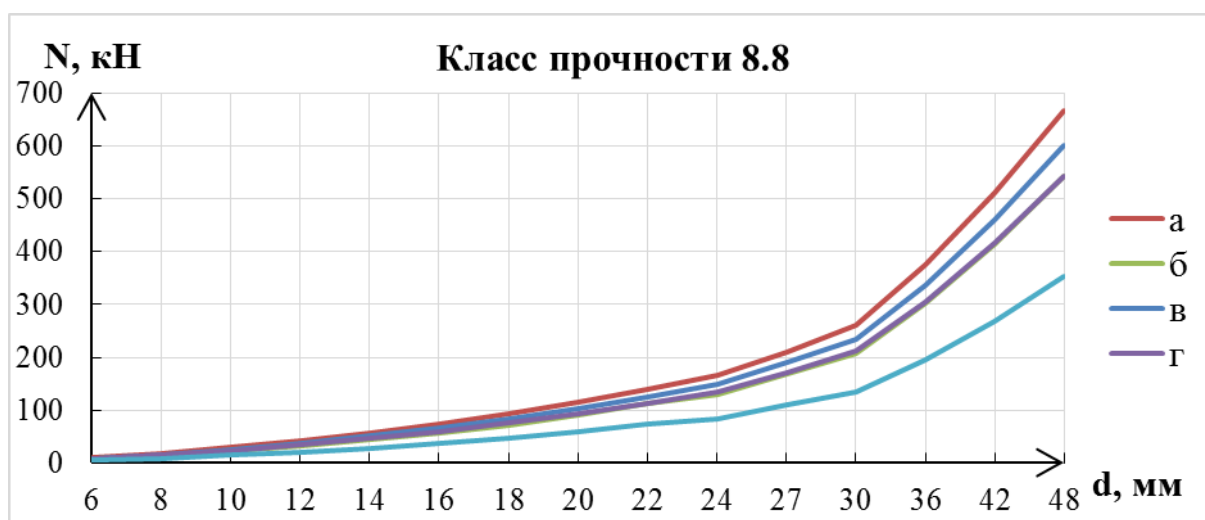
где F_u – минимальный предел прочности материала болта на растяжение.

Сравнение несущей способности болтов на срез с болтами класса прочности 5.8 и 8.8, рассчитанная по EN 1993-1-8 [1], СП 5.04.01-2021 [2] и ANSI/AISC 360-05 [3] приведена на рисунках 1 и 2.



- а) EN 1993-1-8 по гладкой части болта (по площади брутто);
- б) EN 1993-1-8 по резьбовой части болта (по площади нетто);
- в) СП 5.04.01 по гладкой части болта;
- г) ANSI по гладкой части;
- д) ANSI по резьбовой части

Рисунок 1 – Несущая способность болта класса прочности 5.8 из условия среза



- а) EN 1993-1-8 по гладкой части болта (по площади брутто);
- б) EN 1993-1-8 по резьбовой части болта (по площади нетто);
- в) СП 5.04.01 по гладкой части болта;
- г) ANSI по гладкой части;
- д) ANSI по резьбовой части

Рисунок 2 – Несущая способность болта класса прочности 8.8 из условия среза

Анализ формул 1, 2 и 4 позволяет установить, что расчет болтовых соединений на срез по европейским и американским нормам может выполняться как по гладкой части болта, так и по резьбовой. Расчет на срез по СП 5.04.01 (или СП 16.13330) может выполняться только по гладкой части болта. Однако в соответствии с таблицей 2 ГОСТ 7798 [6] установлено, что болты длиной до 40 мм выпускаются только с нарезкой резьбы по всей длине стержня. Поэтому расчет таких соединений по СП 5.04.01-2021 невозможен.

Из рисунка 1 и 2 следует, что расчет по EN 1993-1-8 (формулы 1 и 2) дает большее значение несущей способности болта из условия среза на 10 % для болтов класса прочности 4.6 и для болтов 8.8 – 12 %, по сравнению с расчетом по СП 5.04.01 (формула 3). Расчет на срез по ANSI/AISC 360-05 [3] дает меньшее на 10 % значение несущей способности на срез по сравнению с СП 5.04.01.

Выводы по работе

1. Выполнено сравнение по расчету болтовых соединений на срез европейским, американским и белорусским нормам проектирования. Различия между стандартами заключаются прежде всего в подходах к расчету и требованиях к монтажу [4, 7].

2. Расчет болтовых соединений на срез по европейским (EN 1993-1-8 [1]) и американским нормам (ANSI/AISC 360-05 [3]) выполняется как по гладкой, так и по резьбовой части болта. В то же время расчет болтовых соединений на срез по СП 5.04.01-2021 [2] может выполняться только по гладкой части болта. В соответствии с ГОСТ 7798 [6] болты длиной до 40 мм выпускаются только с нарезкой резьбы по всей длине стержня. Поэтому расчет таких соединений по СП 5.04.01-2021 невозможен.

3. Так как расчетное значение несущей способности на срез, рассчитанное по гладкой части болта в соответствии с СП 5.04.01 менее несущей способности на срез, рассчитанной по EN 1993-1-8, предлагается внести изменения в формулу 197 СП 5.04.01 [3] с последующей корректировкой коэффициента γ_b :

– при расчете по гладкой части болта $N_{bs} = f_{bs} \cdot A_b \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c$;

– при расчете по резьбовой части болта $N_{bs} = f_{bs} \cdot A_{b,n} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c$.

Список цитированных источников

1. Технический кодекс установившейся практики. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Общие правила и правила для зданий : ТКП EN 1993-1-8-2009*. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2015. – 128 с.

2. Стальные конструкции : СП 5.04.01-2021. – Введ. 29.07.2021. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2021. – 147 с.

3. Specification for Structural Steel Buildings, March 9, 2005, American institute of steel construction, INC.

4. Шурин, А. Б. Сравнительный анализ расчета и проектирования элементов стальных конструкций по ТКП EN 1993-1 и СНиП II-23 / А. Б. Шурин, И. В. Зинкевич, А. В. Мухин // Вестник БрГТУ. – Брест, 2020. – № 1 : Строительство и архитектура. – С. 23–27.

5. Драган, В. И. Податливость стержневых систем с узловыми соединениями на пространственных листовых фасонках / В. И. Драган, А. Б. Шурин // Промышленное и гражданское строительство. – Москва, 2015. – № 7. – С. 37–44.

6. Межгосударственный стандарт. Болты с шестигранной головкой гост класса точности В: ГОСТ 7798. Конструкция и размеры. – М. : Стандартинформ, 2010.

7. Проектирование стальных конструкций в соответствии с требованиями EUROCODES. / А. Б. Шурин [и др.]. – Москва : Издательство АСВ, 2021. – 224 с.

УДК 624.014

Дробыш А. И.

Научный руководитель: к. э. н., доцент Кочурко А. Н.

СОПОСТАВЛЕНИЕ СТОИМОСТИ МОНТАЖА СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ НА БОЛТАХ И НА СВАРКЕ

Введение

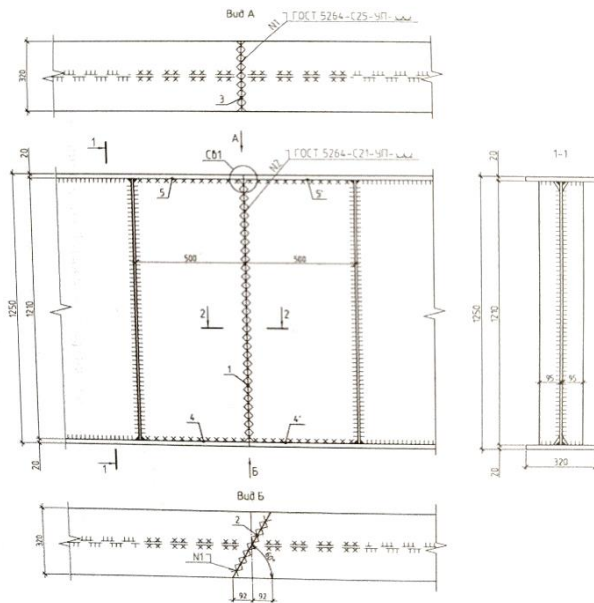
Соединения металлических конструкций на болтах и на сварке являются двумя основными методами крепления металлических элементов и конструкций.

Достоинствами болтовых соединений является простота и надежность, что способствует их широкому распространению при монтаже металлоконструкций. Простота соединения и надежность в работе способствовали их широкому распространению в строительстве при монтаже металлических конструкций.

Однако болтовые соединения более металлоемки, чем сварные, так как имеют стыковые накладки, а отверстия для болтов ослабляют сечения элементов. Последнее частично компенсируется допущением упругопластической работы элементов и введением соответствующего коэффициента условий работы, а для элементов стыка на высокопрочных болтах – уменьшением фактического ослабления за счет передачи части действующего усилия между соединяемыми элементами за пределами ослабленного сечения.

Конструктивные решения узлов

а)



б)

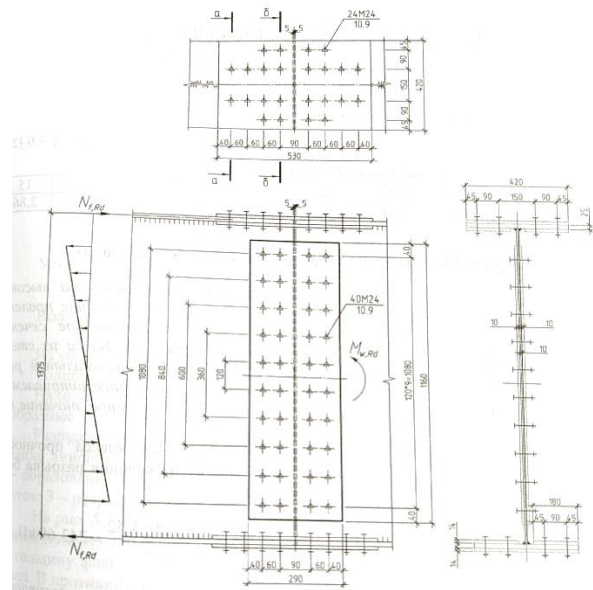


Рисунок 1 – а) равнопрочный стык составной балки на сварке, б) конструкция узла балки на болтах

Экономические показатели

Основные аспекты, которые следует учитывать при оценке стоимости монтажа:

1. Материалы:

- Болтовые соединения требуют наличия болтов, гаек, шайб.
- Сварка требует поверенного сварочного оборудования, сварочных материалов (электроды, проволока и т. д.), защитных средств и, самое главное, аттестованных специалистов соответствующей квалификации.

2. Трудозатраты:

- Установка болтовых соединений является более быстрой и простой, чем сварка, что влияет на трудозатраты. Но болтовые соединения более металлоемки за счет установки накладок, а отверстия под болты ослабляют поперечное сечение, что может привести к повышению металлоемкости конструкции.

- Сварка требует специализированных навыков и опыта, что существенно влияет на стоимость труда.

3. Оборудование и инструменты:

- Для установки болтовых соединений требуется обычный инструментарий.
- Для сварки необходимо специализированное поверенное сварочное оборудование, что гораздо дороже инструментов для сборки болтовых соединений.

4. Требования к изготовлению и монтажу:

- Болтовые соединения подлежат разборке для обслуживания или замены элементов.

- Сварные соединения могут требовать специализированных работ при необходимости ремонта.

– Конструкции подверженные воздействию динамических нагрузок или отрицательных температур не могут быть сварены или требуют разработки специализированной сборки-сварки. Для некоторых конструкций сварка запрещена.

Заключение

С точки зрения монтажа, болтовые соединения являются более экономичными.

Но с учетом аттестованного оборудования и специалистов, сварные соединения являются более надёжными.

Список цитированных источников

1. Проектирование стальных конструкций в соответствии с требованиями EUROCODES : учебное пособие / А. Б. Шурин [и др.]. – М. : Издательство АСВ, 2021. – 224 с.

2. Шурин, А. Б. Особенности расчета болтовых соединений на срез по EN 1993-1-8, СП 5.04.01 и ANSI/AISC 360-05 / А. Б. Шурин, Д. А. Жданов, А. И. Дробыш // Теория и практика исследований, проектирования и САПР в строительстве : сб. статей VI Междунар. науч.-техн. конф., Брест, 23 ноября 2023 г. / Брестский государственный технический университет ; редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2023. – С. 44–48.

УДК 33.338

Кивачук Н. В., Крук У. А.

Научный руководитель: к. э. н., доцент Кочурко А. Н.

АРЕНДА И ЛИЗИНГ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ. ОБЩИЕ УСЛОВИЯ И РАЗЛИЧИЯ

Целью настоящей работы является разграничение понятий аренды и лизинга, выражение их ключевых особенностей с экономической точки зрения и применяемых для них нормативных правовых актов. Прежде чем приступить к более детальному изучению, определим дефиниции рассматриваемых терминов.

Договор – это одна из самых древних юридических конструкций в различных правовых системах мира, в основе которой, по мнению большинства исследователей, лежит соглашение между двумя или более субъектами. Особое место в системе правового регулирования занимает гражданско-правовое договорное регулирование – это правовое регулирование, осуществляемое субъектами гражданского права посредством заключаемых между ними гражданско-правовых договоров. Договор аренды является разновидностью гражданско-правового договора, где согласно ст. 577 Гражданского кодекса Республики Беларусь (далее – ГК Республики Беларусь) под договором аренды понимается гражданско-правовой договор, согласно которому арендодатель (наймодатель) обязуется предоставить арендатору (нанимателю) имущество за плату во временное владение и пользование или во временное пользование [1].

Определим общие условия и признаки, характерные для договора аренды и его разновидностей. Исходя из определения, договор аренды является возмездным, поскольку имущество во временное владение и пользование или во временное пользование предоставляется за плату. Договор аренды является двусторонней сделкой, которая приводит к возникновению прав и обязанностей по нему у обеих сторон. Сторонами договора аренды являются арендодатель

(любые лица – собственники имущества) и арендатор (любые лица), а предметом договора является имущество собственника, которое законодательно признано объектом аренды и которое передается арендодателем арендатору. В контексте данной работы предметом договора будут выступать основные средства, к числу которых относятся: здания, сооружения, рабочие и оборудование, измерительные и регулирующие приборы и устройства, транспортные средства и т. д.

Договор аренды является консенсуальным, поскольку считается заключённым с момента достижения соглашения по его существенным условиям и его вступление в силу. Правовой статус участника договора аренды может быть как в статусе физического, так и юридического лица.

Если же говорить о праве собственности при заключении договора аренды, то следует отметить содержание ст. 210 ГК, где сказано, что право владения и право пользования совместно с правом распоряжения являются составными элементами, образующими право собственности [1]. Иными словами, собственник в отношении принадлежащего ему на праве собственности имущества обладает правами его владения, пользования и распоряжения. Однако при заключении договора аренды арендатор обладает всеми перечисленными видами права собственности за исключением права распоряжения имуществом.

Форма договора аренды определена в ст. 580 ГК, где указано, что договор аренды на срок более одного года, а если хотя бы одной из сторон договора является юридическое лицо, – независимо от срока должен быть заключен в письменной форме, если иное не установлено законодательными актами. При этом договор аренды недвижимого имущества подлежит государственной регистрации, если иное не установлено законодательными актами. Договор аренды имущества, предусматривающий выкуп арендатором арендованного имущества (ст. 595 ГК), заключается в форме, предусмотренной для договора купли-продажи такого имущества [1].

Согласно ст. 581 ГК договор аренды заключается на срок, определенный договором. Если срок аренды в договоре не определен, договор аренды считается заключенным на неопределенный срок [1]. В этом случае каждая из сторон вправе в любое время отказаться от договора, предупредив об этом другую сторону за один месяц, а при аренде недвижимого имущества – за три месяца.

Возврат арендованного имущества описан в ст. 593, согласно которой при прекращении договора аренды арендатор обязан вернуть арендодателю имущество в том состоянии, в котором он его получил, с учетом нормального износа или в состоянии, обусловленном договором. Если арендатор не возвратил арендованное имущество либо возвратил его несвоевременно, арендодатель вправе потребовать внесения арендной платы за все время просрочки. В случае, когда указанная плата не покрывает причиненных арендодателю убытков, он может потребовать их возмещения. В случае, когда за несвоевременный возврат арендованного имущества договором предусмотрена неустойка, убытки могут быть взысканы в полной сумме сверх неустойки, если иное не предусмотрено договором [1].

Стоимость арендной платы прописывается в договоре аренды по согласованию сторон. Согласно ст. 585 ГК арендатор обязан своевременно вносить плату за пользование имуществом (арендную плату). Порядок, условия и сроки

внесения арендной платы определяются договором аренды. В случаях, когда договором они не определены, считается, что установлены порядок, условия и сроки, обычно применяемые при аренде аналогичного имущества при сравнимых обстоятельствах.

При аренде любого имущества (как движимого, так и недвижимого) надо **оформить** в двух экземплярах (один для арендодателя, второй для арендатора):

- договор аренды;
- акт приема-передачи арендованного имущества.

При возврате имущества оформляется акт возврата арендованного имущества в двух экземплярах [3].

Амортизацию на сданные в аренду основные средства продолжает начислять арендодатель. При исчислении налога на прибыль такие суммы амортизации включаются во внереализационные расходы.

У арендодателя остается обязанность по уплате **земельного налога** при передаче в аренду земельного участка, а также здания, сооружения, которые находятся на земельном участке, принадлежащем арендодателю на праве частной собственности, постоянного или временного пользования.

Налог на недвижимость продолжает платить арендодатель. Исключение составляет аренда недвижимости у физлица, в том числе индивидуального предпринимателя, а также иностранной организации, не осуществляющей деятельность в Республике Беларусь через постоянное представительство [3].

Определим отличительные черты, характерные для лизинга как разновидности договора аренды. Согласно законодательству Республики Беларусь выделение отдельных видов договора аренды осуществляется по объектам договора, к одному из которых относится финансовая аренда или же лизинг. Согласно ст. 636 ГК по договору финансовой аренды (лизинга) (далее – договор финансовой аренды) арендодатель (лизингодатель), являющийся юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем, обязуется приобрести в собственность указанное арендатором (лизингополучателем) имущество у определенного им продавца (поставщика) и предоставить арендатору (лизингополучателю) это имущество, составляющее предмет договора финансовой аренды, за плату во временное владение и пользование. Арендодатель (лизингодатель) в этом случае не несет ответственности за выбор предмета договора финансовой аренды и продавца (поставщика). Договором финансовой аренды может быть предусмотрено, что выбор продавца (поставщика) и приобретаемого имущества осуществляется арендодателем (лизингодателем) [1]. Одно из главных отличий лизинга заключается в закреплении права выкупа лизингополучателем имущества по остаточной стоимости по истечении срока договора, когда арендатор такого права не имеет. Исходя из вышесказанного, договор лизинга описывается как двусторонняя сделка с упоминанием третьего участника отношений – продавца основного средства. Можно сделать вывод, что первой отличительной чертой лизинга является привлечение третьего участника отношений, который не взаимодействует на прямую с лизингополучателем (арендатором). Если говорить о предмете договора, то в отличие от договора аренды, предметом договора финансовой аренды (лизинга) могут быть любые непотребляемые вещи, кроме земельных участков и других природных объектов (ст. 637 ГК).

Ввиду появления третьего участника отношений появляется необходимость заключения договора как между лизингодателем и лизингополучателем, так и лизингодателем и продавцом (поставщиком). Согласно ст. 641 арендатор (лизингополучатель) вправе предъявлять непосредственно продавцу (поставщику) имущества, являющегося предметом договора финансовой аренды, требования, вытекающие из договора купли-продажи (поставки), заключенного между продавцом (поставщиком) и арендодателем (лизингодателем), в частности в отношении качества и комплектности имущества, сроков его поставки и в других случаях ненадлежащего исполнения договора продавцом (поставщиком). При этом арендатор (лизингополучатель) имеет права и несет обязанности, предусмотренные настоящим Кодексом и иными актами законодательства для покупателя, за исключением обязанности оплатить приобретенное имущество, как если бы он был стороной договора купли-продажи (поставки) указанного имущества. Однако арендатор (лизингополучатель) не может расторгнуть договор купли-продажи (поставки) с продавцом (поставщиком) без согласия арендодателя (лизингодателя).

Необходимо отметить, что договор лизинга независимо от срока заключается в письменной форме. Для выполнения своих обязательств по договору лизинга субъекты лизинга заключают обязательные и сопутствующие договоры. К обязательным договорам относится договор купли-продажи. К сопутствующим договорам относятся договор о привлечении средств, договор залога, договор гарантии, договор поручительства и другие. По договору лизинга лизингополучатель обязуется принять предмет лизинга в порядке, предусмотренном указанным договором лизинга, и выплатить лизингодателю лизинговые платежи в порядке и в сроки, которые предусмотрены договором лизинга. Немаловажным критерием при утверждении лизингополучателя является его платежеспособность, средняя численность сотрудников, объем выручки от реализации продукции, отсутствие задолженностей по активным операциям, независимость и т. д. Таким образом, еще одной отличительной чертой лизинга является его выборочность в сравнении с договором аренды. К тому же, договор лизинга имеет четкие сроки и подлежит обязательной государственной регистрации в отличие от договора аренды.

Следует упомянуть, что лизинговые платежи состоят из суммы, возмещающей контрактную стоимость предмета лизинга, и лизинговой ставки, включающей расходы Лизингодателя, связанные с исполнением Договора, и вознаграждение Лизингодателя. Лизинговые платежи включают налог на добавленную стоимость по ставке 20 % (двадцать процентов) [3].

Заключение

Исходя из вышесказанного, можно сказать, что лизинг является разновидностью договора аренды и имеет ряд отличительных черт, которые проявляются в более сложной процедуре заключения договора ввиду появления третьего участника отношений, а также жестких критериев отбора лизингополучателя. Существенные отличия находятся в предмете договора, где в договоре лизинга запрещается использование земельных участков и других природных объектов в качестве предмета договора. Заключение договора лизинга проводится только в письменной форме и с обязательной государственной регистрацией в отличие

от договора аренды. Одно из главных отличий лизинга заключается в закреплении права выкупа лизингополучателем имущества по остаточной стоимости по истечении срока договора, а также его выборочности по отношению и лизингополучателю.

Список цитированных источников

1. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 01.04.2024.
2. Официальный сайт Национального банка Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.nbrb.by / – Дата доступа: 03.04.2016
3. Лизинг в Республике Беларусь. Теория и практика осуществления / С. В. Шиманович, А. И. Цыбулько, К. С. Шиманович. – Минск: Альфа-книга, 2021. – 692 с.

УДК 1418

Кривецкий Н. С., Василевич А. С.

*Научный руководитель: к. т. н., доцент Юськович В. И.;
ст. преподаватель Игнатюк Т. В.*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОГЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ УТЕПЛИТЕЛЯ В ПИ-ТРУБАХ

Теплоизоляция трубопровода необходима, чтобы избежать его замерзания во время резкого понижения температуры. Разрешить ситуацию можно при помощи специальных трубных утеплителей, имеющих свое назначение и различные варианты установки. Выбор материалов для утепления обусловлен, в первую очередь, техническими характеристиками утепляемых труб и способом крепления. В статье мы рассмотрим применение аэрогеля в качестве теплоизоляционного слоя современных ПИ-трубопроводов.

ПИ-трубы, используемые в теплотрассах, состоят из внутренней трубы из стали, стеклопластика или полипропилена, внешней оболочки из полиэтилена или оцинкованной стали, а также заполнены пенополиуретаном – теплоизоляционный слой. Они включают в себя провода для СОДК состояния изоляции, интегрированные в теплоизоляцию, что позволяет операторам мониторить состояние трубопроводов в реальном времени, обнаруживать утечки, контролировать температуру и давление, а также оптимизировать процессы подачи тепла. ПИ-трубы предназначены для использования в тепловых сетях с постоянной температурой теплоносителя до 120 °С и в тепловых сетях, работающих по графику качественного регулирования, с температурой теплоносителя до 150 °С [1].

Преимуществами ПИ-труб являются:

Низкие теплопотери. Благодаря изоляционному слою (чаще всего пенополиуретановому), ПИ-трубы минимизируют теплопотери, что особенно важно для систем горячего водоснабжения и отопления.

Долговечность. Внутренний трубопровод, выполненный из коррозионно-устойчивых материалов (таких как полиэтилен, полипропилен), имеет долгий срок службы, устойчив к химическим и механическим воздействиям. Внешняя

защитная оболочка (из полиэтилена или оцинкованной стали) защищает трубу от механических повреждений и ультрафиолетового излучения. ПИ-трубы не подвержены коррозии.

Устойчивость к температурным изменениям. ПИ-трубы способны выдерживать различные температурные условия, что делает их надежными для систем с переменной температурой.

Устойчивость к химическому воздействию. Благодаря устойчивости к большинству химических веществ ПИ-трубы подходят для различных условий эксплуатации.

Замена традиционных труб ПИ-трубами повышает надежность систем теплоснабжения. ПИ-трубы обладают выдающимися техническими характеристиками, включая низкую теплопроводность, устойчивость к коррозии и химическим воздействиям. Эти весомые свойства делают их хорошим решением для современных теплосетей.

К недостаткам ПИ-труб можно отнести:

Требования к поверхности для установки. При укладке труб необходимо, чтобы поверхность была ровной и не содержала острых предметов, чтобы избежать повреждений.

Высокая стоимость. В некоторых случаях ПИ-трубы могут иметь более высокую стоимость по сравнению с другими материалами, однако это зависит от рыночных условий и доступности материалов в конкретном регионе.

Соппротивление ударам. По сравнению с некоторыми другими материалами ПИ-трубы могут быть менее устойчивы к механическим воздействиям и повреждениям.

Чувствительность к ультрафиолету. Полиэтилен подвержен воздействию ультрафиолетовых лучей. При использовании ПИ-труб на открытом воздухе без должной защиты от солнечного света они могут подвергаться старению и утрате своих свойств со временем.

Использование пенополиуретана (ППУ) в качестве теплоизоляционного материала в ПИ-трубах стало стандартом благодаря его отличным изоляционным свойствам, легкости и доступности. Однако, несмотря на многочисленные преимущества, использование ППУ также сопровождается рядом проблем и ограничений.

Дегградация под воздействием влаги и воды. ППУ подвержен дегградации при длительном контакте с влагой. Если внешняя защитная оболочка повреждена или недостаточно герметична, вода может проникнуть в изоляционный слой и снизить его эффективность.

Накопление влаги может привести к образованию грибка и плесени, что ухудшает изоляционные свойства и может вызывать гигиенические проблемы. Помимо всего, попадание влаги в теплоизоляционный слой нарушает работу СОДК.

Ультрафиолетовое (УФ) излучение. ППУ чувствителен к ультрафиолетовому излучению. Под воздействием УФ-лучей материал может со временем разрушаться, становясь хрупким и теряя свои изоляционные свойства.

Температурные ограничения. ППУ имеет ограничения по рабочей температуре. При высоких температурах (обычно выше 120 °С) ППУ может начать разлагаться, что ограничивает его применение в высокотемпературных системах.

Горючесть. ППУ является горючим материалом. В случае возгорания он может выделять токсичные газы, что представляет опасность для здоровья и безопасности.

Проницаемость для газов. ППУ не является абсолютно газонепроницаемым материалом. В некоторых случаях это может приводить к проникновению газов через изоляционный слой, что снижает его изоляционные свойства со временем.

Экологические аспекты. Производственный процесс ППУ может выделять вредные химические вещества, а утилизация старого или поврежденного ППУ представляет проблему из-за его долговечности и токсичности [2].

В связи с этим растет интерес к разработке и использованию более экологически чистых изоляционных материалов. К таким относится аэрогель.

Аэрогель – это самое лёгкое в мире прозрачное и твёрдое вещество. Класс материалов, представляющих собой гель, в котором жидкая фаза полностью замещена газообразной. Такие материалы обладают рекордно низкой плотностью и демонстрируют ряд уникальных свойств: твёрдость, прозрачность, жаропрочность, чрезвычайно низкую теплопроводность и т. д.

Брусочек аэрогеля всего лишь в несколько раз тяжелее того же объёма воздуха. И на это имеется веская причина, ведь аэрогель на 99 % состоит из воздуха [3].

Наиболее распространены кварцевые аэрогели. Их минимальная плотность равна 1 кг/м^3 , что в 1000 раз меньше плотности воды. Кварцевые аэрогели пропускают свет в мягком ультрафиолете. Благодаря чрезвычайно низкой теплопроводности ($0,017 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ в воздухе при атмосферном давлении), меньшей, чем теплопроводность воздуха ($0,024 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), они применяются в строительстве в качестве теплоизолирующих и теплоудерживающих материалов. Температура плавления кварцевого аэрогеля составляет $1200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Углеродные аэрогели (аэрографиты) состоят из наночастиц, ковалентно связанных друг с другом.

Глинозёмные аэрогели состоят из оксида алюминия с добавками других металлов и используются в качестве катализаторов [4].

Одним из самых перспективных материалов является наноструктурированный аэрогель на основе диоксида кремния ввиду своей наименьшей стоимости и простоты изготовления в сравнении с другими видами. Эффективность его использования обусловлена рядом уникальных свойств, которыми обладает этот материал. В первую очередь это низкий коэффициент теплопроводности, значение которого составляет около $0,015 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ при температуре 10°C .

Аэрогель в основном используется в соединении с другими материалами, что позволяет улучшить его базовые свойства.

Сейчас, пройдя ряд усовершенствований, данная субстанция представляет собой похожее на пенопласт вещество, только гораздо прочнее, при сильной нагрузке аэрогель трескается, но в целом это весьма прочный материал – образец аэрогеля выдерживает нагрузки в 2000 раз превышающие собственную массу [3].

Теплоизолирующий материал с аэрогелем обладает следующими преимуществами:

Высокая эффективность теплоизоляции. Аэрогель обладает одним из самых низких коэффициентов теплопроводности среди известных изоляторов, что позволяет значительно уменьшить теплопотери.

Тонкий изоляционный слой. Благодаря высокой эффективности аэрогеля необходимая толщина изоляционного слоя значительно уменьшается по сравнению с пенополиуретаном, что позволяет уменьшить общий диаметр ПИ-труб, что может быть полезно в условиях ограниченного пространства.

Устойчивость к высоким температурам. Аэрогель сохраняет свои изоляционные свойства при более высоких температурах, чем большинство других полимерных материалов, что расширяет диапазон применения ПИ-труб, включая системы с высокотемпературными рабочими средами.

Долговечность и устойчивость к внешним воздействиям. Аэрогель устойчив к воздействию влаги, ультрафиолетового излучения и химических веществ, что увеличивает срок службы изоляционного слоя и всей трубы в целом.

Также у данного материала можно выделить высокую механическую прочность, малый вес, полную безопасность для экологической среды (материал не выделяет токсичных веществ), универсальность стабильность к деформациям.

Главным недостатком аэрогеля до недавнего времени была его хрупкость: он растрескивался при повторных нагрузках. Все полученные на тот момент аэрогели из кварца обладали этим недостатком. Но с появлением новых углеродных материалов – графена и углеродных нанотрубок – проблема была решена.

Так же к недостаткам следует отнести низкую распространенность материала и относительно высокую стоимость производства. Из-за малого числа производств стоимость материала не самая демократичная.

Использование аэрогеля в ПИ-трубах особенно актуально в следующих областях:

Высокотемпературные системы отопления и горячего водоснабжения. В системах ГВС и отопления, где важна минимизация теплопотерь, аэрогель обеспечивает высокую эффективность теплоизоляции.

Промышленные процессы, где требуется минимизация теплопотерь. В промышленных трубопроводах, где транспортируются горячие жидкости или газы, аэрогель помогает поддерживать стабильную температуру транспортируемых веществ, что критически важно для многих технологических процессов.

Системы транспортировки углеводородов и химических веществ. Аэрогель используется в трубопроводах для транспортировки нефти и газа, особенно в условиях крайнего севера и подводных трубопроводах, где требуется высокая устойчивость к экстремальным температурам и давлению.

Космическая и авиационная промышленность, где важны минимальный вес и максимальная теплоизоляция. Аэрогель используется для изоляции трубопроводов, которые должны выдерживать экстремальные температуры и минимизировать вес. Примером может быть изоляция топливных систем в космических аппаратах.

Примеры применения аэрогеля как теплоизолирующего материала в трубопроводах

Компания AspenAerogels предлагает материалы, основанные на аэрогеле, для различных применений, включая изоляцию трубопроводов. Их продукты используются в промышленных и строительных проектах для повышения энергоэффективности.

Аэрогель активно применяется в трубопроводных системах, устанавливаемых в арктических регионах. Например, трубопроводы для транспортировки природного газа на Аляске и в Сибири используют аэрогель для минимизации теплопотерь в экстремально холодных условиях.

Из сказанного выше можно заключить, что современные ПИ-трубопроводы теплосетей представляют собой сложные и надежные технологические системы, играющие важную роль в обеспечении устойчивого теплоснабжения для наших городов и общества в целом. Постоянное развитие новых технологий и методов проектирования будет продолжать повышать эффективность и экологическую устойчивость этих систем, обеспечивая комфорт и безопасность в будущем. Однако при замене ПИ-труб образуется много пены и оболочки, которые нежелательны для утилизации, поэтому есть несколько альтернативных вариантов замены вредной пены в ПИ-трубах – аэрогель. Применение аэрогеля в качестве теплоизоляционного материала в ПИ-трубах представляет собой значительный шаг вперед в области трубопроводных технологий. Высокая эффективность теплоизоляции, уменьшение толщины изоляционного слоя и устойчивость к высоким температурам делают аэрогель отличным выбором для специализированных и высокотехнологичных приложений. Однако высокая стоимость и технологические сложности ограничивают его массовое применение [5].

Список использованных источников

1. Применение ПИ-труб в тепловых сетях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/141349/549-551.pdf?/>. – Дата обращения: 01.05.2024.
2. Предварительно изолированные трубы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pvc.by/predvaritelno-izolirovannyye-truby/>. – Дата обращения: 01.05.2024.
3. Что такое Аэрогель? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://венторус.рф/articles/что-такое-aerogel/>. – Дата обращения: 02.05.2024.
4. Аэрогель. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Аэрогель/>. – Дата обращения: 02.05.2024.
5. Что такое аэрогель и его характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://m-strana.ru/articles/aerogel-eto/>. – Дата обращения: 05.05.2024.

УДК 550.34.01

Макаревич Д. В., Макаревич Е. А.

Научные руководители: к. т. н. Тур А. В.; ст. преподаватель Воробей А. В.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ С ПОМОЩЬЮ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Термин “сейсмический” обозначает “связанный с колебаниями земной коры”. Сейсмическими называют районы, в которых возможны землетрясения. Сейсмические воздействия относятся к динамическим.

Силы землетрясения оцениваются по 12-ти бальной шкале и принимают по картам сейсмического районирования.

Землетрясения силой до шесть баллов не вызывают заметных повреждений в строениях и поэтому практически не учитываются, предъявляя повышенные

требования к качеству монтажа. В семь баллов вызывают трещины и другие повреждения в стенах каменных зданий. В восемь баллов – значительные повреждения и отдельные разрушения, в девять баллов – сильные разрушения и обвалы зданий. При землетрясениях в десять и более баллов строить экономически нецелесообразно.

Степень сейсмического воздействия зависит от грунтовых условий. При строительстве на плотных и сухих грунтах сейсмические воздействия ослабевают, а на рыхлых и водонасыщенных грунтах – усиливаются. Неблагоприятны участки с расчлененным рельефом (овраги, обрывистые берега и т. д.).

Сейсмостойкость здания обеспечивается:

- Выбором благоприятной в сейсмическом отношении площадки строительства, конструктивно-планировочной схемы и соответствующими материалами.
- Применение специальных конструктивных мероприятий.
- Соответствующим расчетом несущих и ограждающих конструкций. особенно высоким качеством выполнения строительно-монтажных работ.

Принципы проектирования сейсмостойких зданий и сооружений:

1. При выборе объемно-планировочных и конструктивных решений необходимо обеспечивать симметричное относительно главных осей и равномерное в плане распределение масс и жесткостей.

2. Зданию в плане рекомендуется простое очертание (круг, квадрат, прямоугольник). Не рекомендуется возводить пристройки и ассиметрично располагать лестничные клетки.

3. Большое по площади здание со сложным очертанием расчленяют на отдельные блоки с антисейсмическими деформационными швами.

4. Основные несущие конструкции должны быть монолитными и однородными. Им придают равнопрочность, так как преждевременный выход из строя слабых узлов и элементов может привести к разрушению здания до исчерпания несущей способности основных конструкций.

5. При проектировании сборных элементов по возможности укрупняют их, тем самым уменьшая количество стыков. Стыки располагают вне зоны максимальных усилий.

6. Поскольку величина сейсмических нагрузок зависит от веса здания, стремятся уменьшить вес здания и полезных нагрузок.

Сейсмостойкие здания и сооружения проектируют:

- по жесткой конструктивной схеме из несущих вертикальных элементов (диафрагм), работающих под действием сейсмической нагрузки преимущественно на сдвиг и обладающих малыми деформациями. Она способствует затуханию колебаний;

- по гибкой конструктивной схеме из несущих вертикальных элементов, работающих под действием сейсмических толчков преимущественно на изгиб. Она снижает сейсмическую нагрузку на здание [1].

Каркасы сейсмостойких зданий

В каркасных зданиях конструкцией, воспринимающей сейсмическую нагрузку, может служить:

- рамный каркас с жесткими узлами сопряжений ригелей и колонн;
- связевой каркас с вертикальными устоями жесткости (стальные связи, диафрагмы, стены, ядра жесткости).

При числе этажей более пяти связевый каркас может выполняться с жесткими узлами сопряжений ригелей и колонн.

Может использоваться также комбинированный каркас – с рамной схемой в поперечном направлении и связевой – в продольном направлении.

Для зданий более девяти этажей используются только связевые каркасы с вертикальными устоями жесткости [2].

Как влияет пространственная жесткость на устойчивость конструкции?

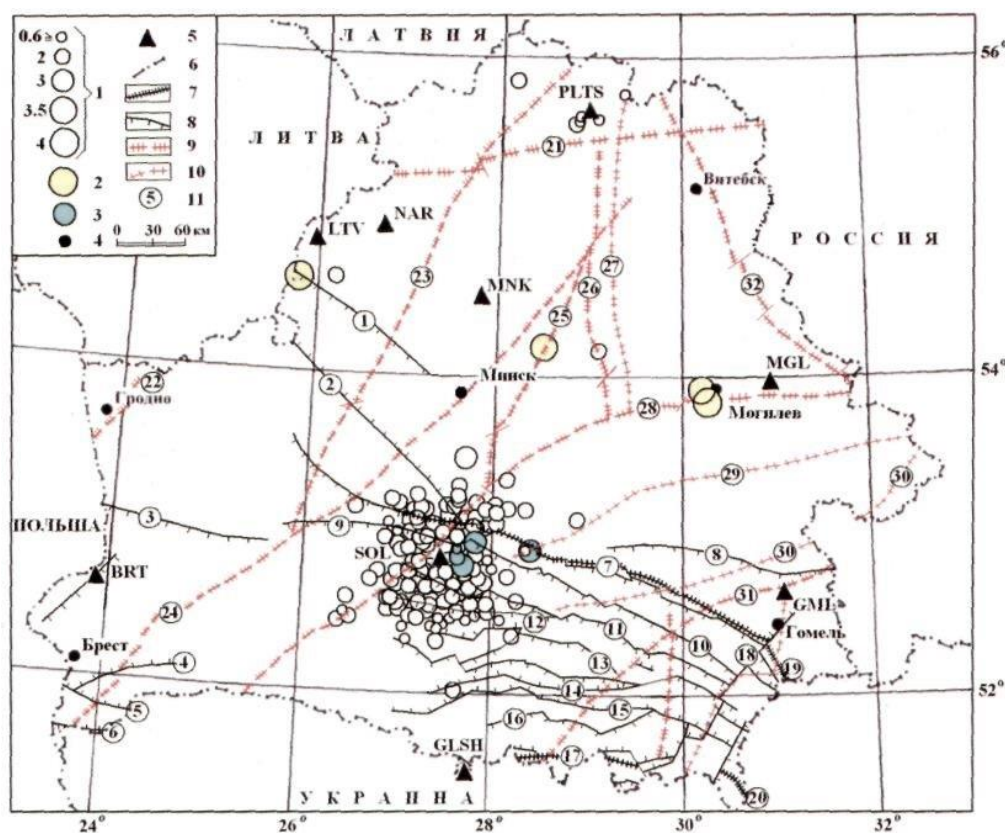
Пространственная жесткость – способность здания и его элементов сохранять первоначальную форму при действии приложенных сил.

Устойчивость – способность здания сопротивляться опрокидыванию при действии горизонтальных нагрузок.

Общая устойчивость и пространственная жесткость здания зависят от взаимного сочетания и расположения конструктивных элементов, прочности узлов соединений и т. д.

Сейсмичность территории Беларуси

В целом наша страна характеризуется относительно слабой сейсмической активностью, однако и в её пределах происходили достаточно сильные сейсмические события с магнитудой в 4–5 баллов. Проявления сейсмичности в регионе связывалось с существованием разломов в фундаменте. За весь период наблюдений на территории Беларуси произошло шесть землетрясений, которые имели ощутимый характер (рисунок 1). Последнее ощутимое и наиболее сильное – Ошмянское землетрясение, произошло в 1908 г. [3].



1 – магнитуда землетрясений, 2 – эпицентры,
3 – ощутимые инструментально зарегистрированные землетрясения, 4 – город
Рисунок 1 – Карта землетрясений на территории Беларуси

Симуляции с макетами

Несмотря на то, что Республика Беларусь характеризуется относительно малой сейсмической активностью, данная тема в современном мире очень актуальна. Даже на территории СНГ землетрясения являются важной проблемой. В связи с этим было принято провести эксперимент с разными типами каркасов. Эксперимент состоял из двух этапов: симуляция с нагрузками в программе SAP2000 и испытание макетов, состоящих из макарон и деревянных шпажек.

Имеется два типа каркаса: рамный (рисунок 2) и связевой (рисунок 3). В симуляции можно наглядно увидеть, как дополнительные связи уменьшают колебания каркаса.

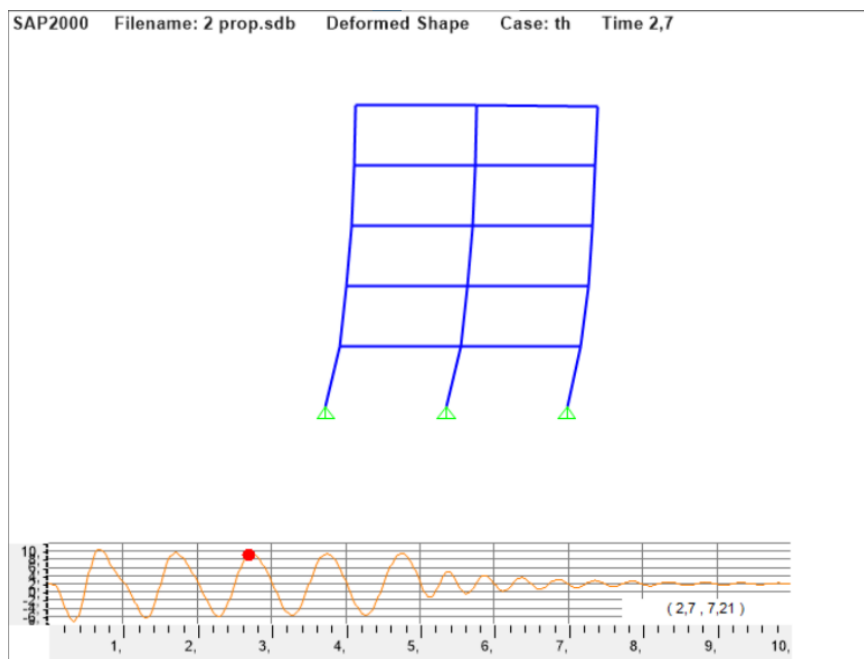


Рисунок 2 – Симуляция с нагрузками в программе SAP2000 рамного каркаса

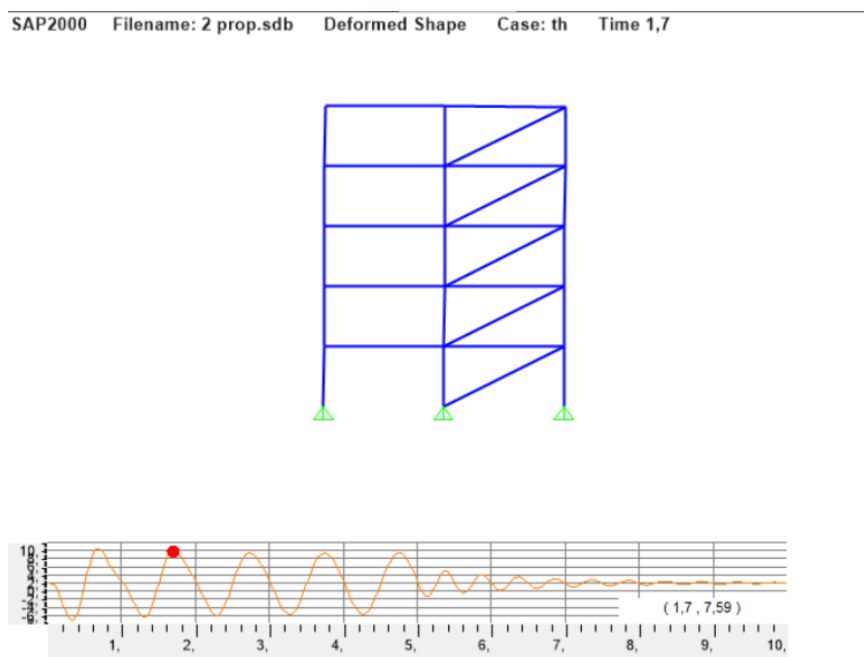


Рисунок 3 – Симуляция с нагрузками в программе SAP2000 связевого каркаса

Касаемо симуляции с макетами из макарон, мы сделали рамный, связевой и рамно-связевой каркас (рисунок 4), а также дополнительно добавили макет из деревянных шпажек с четырьмя диагональными связями на нижнем этаже. Помимо специально записанного на видео эксперимента, было проведено несколько экспериментов в рамках мероприятий “Каникулы в БрГТУ”. У нас получилась небольшая статистика, причем довольно интересная: в большинстве случаев первым разрушался рамный каркас из макарон, затем связевой, затем комбинированный. Каркас из деревянных шпажек оставался целым.

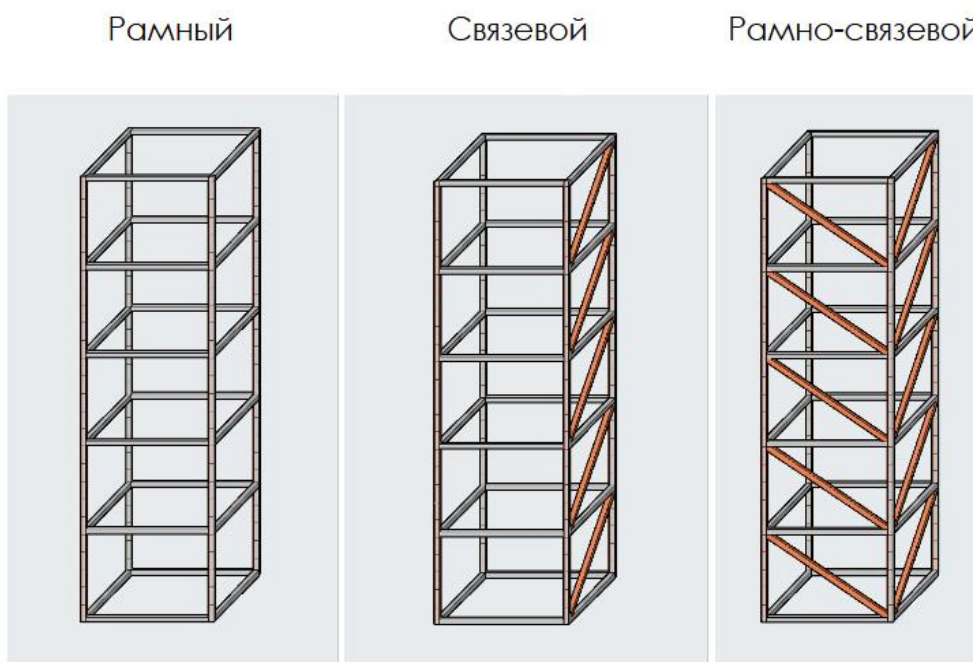


Рисунок 4 – Типы каркасов из макаронных изделий

А вот последний наш эксперимент закончился необычно. На видео видно, что первым разрушается комбинированный каркас, затем связевой и только потом рамный. Каркас из деревянных шпажек неизменно остается целым. Скорее всего, дело здесь в дефекте сборки.

Заключение

Таким образом, возведение каркасных конструкций в сейсмоопасных районах имеет ряд особенностей, которые заключаются в создании устойчивой каркасной основы, снабженной диагональными связями, диафрагмами и ядрами жесткости, что позволяет существенно снижать влияние колебаний почвы при землетрясении. И, соответственно, чем больше дополнительных связей в каркасе здания, тем выше его пространственная жесткость и устойчивость.

Список цитированных источников

1. Строительство зданий в сейсмических районах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9515451/page:35/>. – Дата доступа: 9.04.2024.
2. СП 31-114-2004 “Правила проектирования жилых и общественных зданий для строительства в сейсмических районах” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data1/45/45786/?ysclid=lx21q3geg2523192989>. – Дата доступа: 9.04.2024.
3. Сейсмический режим территории Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9697043/page:10/>. – Дата доступа: 10.04.2024.

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В МОДЕЛИРОВАНИИ ПОВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Введение

Железобетонные плиты дорожных покрытий на грунтовом основании обладают нелинейным поведением под нагрузкой со сложным напряженно-деформированным состоянием. Традиционно при проектировании железобетонных плит используют математические модели, метод конечных элементов (МКЭ) и экспериментальные испытания.

Математические модели сопротивления железобетонных плит не позволяют учесть большое количество переменных одновременно по причине сложности и трудоёмкости такого подхода [1].

Для решения сложных инженерных задач за последние два десятилетия многие исследователи предложили использовать методы мягких вычислений (soft computing) [2–4]. Наиболее популярными из них являются искусственные нейронные сети (*artificial neural networks*), методология поверхности отклика (*response surface methodology*), нечеткая логика (*fuzzy logic*), оптимизация роя частиц (*particle swarm optimization*) и генетические алгоритмы (*genetic algorithms*) [5].

Нейронные сети могут быть использованы в качестве альтернативы математическим моделям или экспериментальным испытаниям на начальной стадии проектирования для получения быстрого предсказания поведения железобетонных плит под нагрузкой, определения величины сопротивления и прогибов.

Постановка задачи и выбор вида нейронной сети

Конструкция железобетонного плитного фундамента на грунтовом основании состояла из двух железобетонных плит: нижней железобетонной плиты основания контейнерной площадки толщиной $h = 100$ мм, верхней железобетонной плиты покрытия толщиной $h = 250$ мм.

Для плиты основания в расчетах был принят бетон класса $C^{12}/_{15}$ согласно [6] с модулем упругости $E = 19000$ МПа, для плиты покрытия – бетон класса $C^{32}/_{40}$ согласно [6] с модулем упругости $E = 38000$ МПа. Коэффициент Пуассона для обеих плит был принят $\mu = 0,2$.

Взаимодействие верхней и нижней плит между собой моделировалось посредством упругих связей конечной жесткости.

Расчет плит на вертикальные нагрузки от колес перемещающегося по поверхности погрузочного транспортного средства (ричстакера) первоначально был выполнен в ПК ЛИРА-САПР.

Работу упругого основания учитывали при помощи встроенного в ПК ЛИРА-САПР алгоритма «Модель грунта», учитывающего упругую работу каждого слоя грунтового основания. Характеристики грунтов в слоях были приняты

на основании инженерно-геологических изысканий на территории контейнерной площадки в перевалочном парке станции Брест-Северный в г. Бресте.

Расчет выполняли на действие постоянной нагрузки от собственного веса плит основания и покрытия контейнерной площадки и кратковременной нагрузки на каждое переднее колесо от ричстакера FERRARI F500-RS2. Площадь приложения нагрузки от колес ричстакера, согласно его техническим характеристикам, была принята равной $A = 0,36 \text{ м}^2$. Величину нагрузки от колес ричстакера варьировали в пределах от 150 до 900 кН для формирования базы данных для обучения нейронной сети.

Так как распределение напряжений, деформаций или вертикальных перемещений по поверхности плиты имеет сходство с изображением, авторами работы было принято решение использовать для достижения поставленной цели сверточную нейронную сеть (CNN).

Архитектура и алгоритм работы нейронной сети

Для предсказания распределения напряжений на поверхности железобетонной плиты использовали сверточную нейронную сеть (CNN) с архитектурой U-Net, приведенную на рисунке 1. Она состоит из двух частей: encoder («сверточная») и decoder («разверточная»). Encoder преобразует входное изображение в многомерное представление признаков. Он выполняет функцию извлечения признаков. Decoder создает сегментированное изображение на основе признаков, полученных от сверточной части сети.

Использовали две модели. В модели 1 исходные данные подавались в виде четырех цифровых карт признаков размерностью 56×56 : карты признаков формы плиты; карты нагрузок; двух карт привязки расположения нагрузки от колёс ричстакера на поверхности плиты. В модели 2 исходные данные подавались в виде одной цифровой карты признаков размерностью 56×56 , в которой отображались координаты точек плиты с шагом 0,1 м и величина вертикальной сосредоточенной нагрузки на плиту в каждой координате.

На входе в нейронную сеть подавали изображение загруженной внешними силами плиты размерами $5,6 \times 5,6 \text{ м}$, которые были преобразованы в три карты признаков размерами 64×64 . Карту признаков формы плиты не учитывали так как форма плиты не менялась. Свертка представляет цифровой фильтр, в котором обучение осуществляли методом «скользящего окна» [7] посредством взвешенного суммирования значений в ячейках карты (нейронах) и весовых коэффициентов – коэффициентов ядра свертки.

Результат «скольжения» ядра, в нашем случае размерами 4×4 с шагом 2, по всему изображению записывается в новое изображение (новую карту признаков). На каждом слое блок кодирования сворачивает трехмерную матрицу, уменьшая количество точек дискретизации карты в два раза и увеличивая количество признаков (каналов). Для сохранения размеров выходных данных карты признаков и захвата крайних значений, в карте признаков добавляли строки и столбцы справа и слева, а также сверху и снизу, заполненные нулями (процедура *padding*). Схема применяемой модели CNN с архитектурой U-Net с одним пикселем в самом низком разрешении указана на рисунке 1.

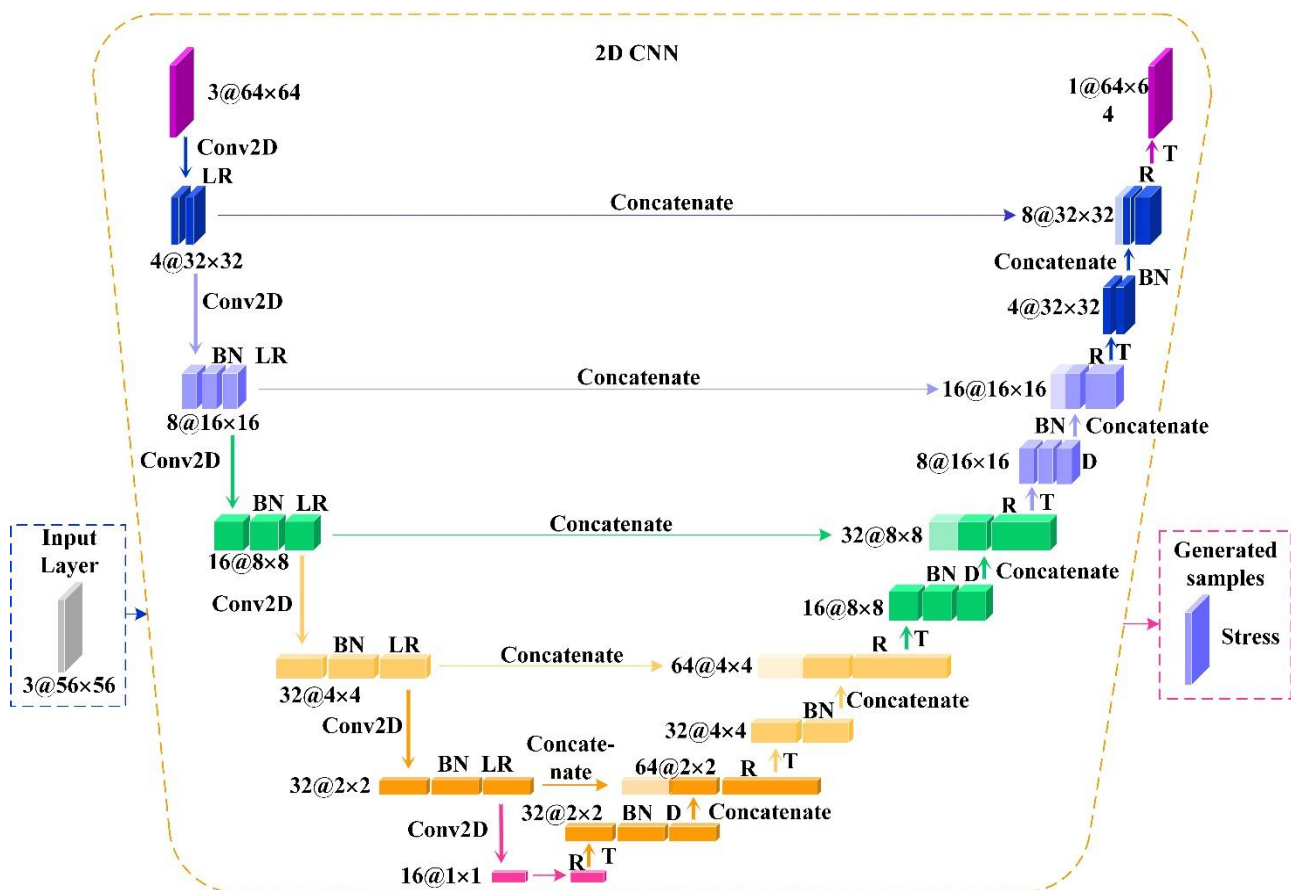


Рисунок 1 – Схема применяемой модели CNN с архитектурой U-Net с одним пикселем в самом низком разрешении

Каждый цветной параллелепипед соответствует многоканальной карте признаков. Количество каналов обозначено первой цифрой (перед @) в подписи параметров карты. Размеры карты указаны за знаком @ в подписи параметров карты. Прозрачные поля представляют собой скопированные карты признаков для операции объединения (concatenate). Буквами обозначены следующие параметры: Conv 2D – Convolution 2D – двумерная свертка; BN – Batch Normalization – пакетная нормализация данных; LR – Leaky ReLU – функция активации; R – ReLU – функция активации; T – Conv2DTranspose – 2D транспонированный сверточный слой; D – Dropout – метод регуляризации, предназначенный для уменьшения переобучения сети.

На каждом этапе свертки выполнялись пакетная нормализация полученных данных (англ. Batch Normalization – BN на рисунке 1), позволяющая повысить производительность и стабилизировать работу сети, и выпрямление линейным блоком активации Leaky ReLU (LR на рисунке 1). Алгоритм проведения Batch Normalization подробно изложен в [8].

Вторая часть сети – «decoder» (развертывание) – является зеркальным отражением первой. Размер изображения необходимо восстановить до исходного. С этой целью применяются слои повышающей дискретизации (upsampling) в комбинации со сверточными слоями. Каждый слой в развёртывании представляет процесс обратный свертке карты признаков, сопровождающийся увеличением её размеров вдвое и уменьшением вдвое количества каналов признаков с последующей пакетной нормализацией (англ. Batch Normalization). Следующий

за пакетной нормализацией слой «dropout» «выключает» в случайном порядке (временно исключает из обучения) определенный процент нейронов в сети на каждом шаге обучения, что помогает предотвратить чрезмерную зависимость модели от конкретных путей и узлов в сети, ведущую к переобучению [9]. Полученную на данном слое карту признаков объединяют (англ. *concatenate*) с соответствующим образом обрезанной картой признаков из сверточного слоя и выполняют выпрямление линейным блоком активации ReLU.

Обучение нейронной сети

Следует отметить, что в настоящем исследовании количество обучаемых параметров, которое составило 98673 в МОДЕЛИ 1 и 98545 в МОДЕЛИ 2, превышает количество образов, на которых обучалась модель, что, по мнению многих исследователей, является недостатком модели.

Существует мнение, что объем обучающей выборки должен быть равен объему обучаемых параметров с целью предотвращения переобучения сети. Некоторые современные исследования отмечают, что деление изображений на локальные области (патчи – англ. *patch*) выполняет более точную сегментацию изображений и приводит к уменьшению обучающей выборки при сохранении предсказательной способности.

В данной работе авторы использовали для предсказания распределения напряжений на поверхности железобетонной плиты двухмерную сверточную нейронную сеть (CNN) с архитектурой U-Net используя при обучении метод стохастического градиентного спуска (SGD).

В обеих моделях было назначено 300 эпох обучения. Для обучения нейросети использовали 100 образцов с соотношением между обучающими и валидационными выборками составляющим 97 % к 3 %. Для проверки точности предсказания моделей использовали дополнительную тестовую выборку из 25 образцов, не использованных в обучении сети.

При тестировании нейронной сети использовалась средняя абсолютная ошибка с нормой L1 [10], так как эта метрика хорошо отражает точность результата предсказания.

Все этапы создания CNN, обучения и проверки были реализованы с помощью языка программирования Python и открытой программной библиотеки для машинного обучения, разработанная компанией Google для решения задач построения и тренировки нейронной сети Tensorflow [11].

Выводы

Нейронные сети могут быть использованы в качестве альтернативы математическим моделям или экспериментальным испытаниям на начальной стадии проектирования для получения быстрого предсказания поведения железобетонных плит под нагрузкой, определения величины сопротивления и прогибов.

Нейронные сети способны моделировать поведение систем при ограниченных затратах на проектирование и предоставлять быстрые и достаточно точные решения в сложных, неопределенных и индивидуальных ситуациях.

Так как распределение напряжений, деформаций или вертикальных перемещений по поверхности плиты имеет сходство с изображением, авторами работы было принято решение использовать для достижения поставленной цели сверточную нейронную сеть (CNN).

Список цитированных источников

1. Tully, S. H. A neural network approach for predicting the structural behavior of concrete slabs : a thesis submitted for the degree of master of engineering : 06.1997 / S. H. Tully. – New-foundlan, 1997. – 126 p.
2. Ahmad, A. Neural Network-Based Prediction: The Case of Reinforced Concrete Members under Simple and Complex Loading / A. Ahmad, N. D. Lagaros, D. M. Cotsovos // Appl. Sci. – 2021. – 11, 4975.
3. Bamiyo, S. Philip Prediction of Load deflection Behaviour of two way Rc Slab using Neural Network Approach / S. P. Bamiyo, O. A. Uche, M. Adamu // Int. J. Optim. Civil Eng. – 2017. – 7(4). – P. 633–644.
4. Lagaros, N. D. Learning improvement of neural networks used in structural optimization / N. D. Lagaros, M. Papadrakakis // Adv. Eng. Softw. – 2004. – 35. – P. 9–25.
5. Volna, E. Introduction to Soft Computing / E. Volna // 1st ed. ; Dept. of Computer Science University of Ostrava: Ostrava, Czechia. – 2013. – P. 137.
6. Бетонные и железобетонные конструкции = Бетонныя і жалезабетонныя канструкцыі : СП 5.03.01-2020. – Введ. 16.09.2020. – Минск : РУП «Стройтехнорм» : Мин. арх. и стр. Республики Беларусь, 2020. – 244 с.
7. Головки, В. А. Нейросетевые технологии обработки данных / В. А. Головки, В. В. Краснопрошин. – Минск : Бел. гос. ун-т, 2017. – 264 с.
8. Ioffe, S. Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift / S. Ioffe, Ch. Szegedy // International Conference on Machine Learning, Lille, France, 2015. – JMLR: W&CP volume 37. – P. 9.
9. Dropout и Batch normalization. Блог компании М. Видео-Эльдорадо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/mvideo/articles/782360/>. – Дата доступа: 22.05.2024.
10. Barrodale, I. L1 Approximation and the Analysis of Data. Applied Statistics. 17 (1). – 1968. – P. 51–57.
11. Python programming language and the Tensorflow framework [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.tensorflow.org/about/bib>. – Date of access: 22.10.2023.

УДК 624.012.45:625:004.8

Михаевич В. В.

Научные руководители: к. т. н., доцент Молош В. В.;

к. т. н., доцент Желткович А. Е.

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТАХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Введение

В основу проектирования железобетонных плит фундаментов, перекрытий, дорожных покрытий положены расчетные модели, которые разработаны на относительно ограниченном количестве экспериментальных исследований, в большинстве случаев требующих достаточно больших материальных и временных затрат. Сложное напряженно-деформированное состояние в таких железобетонных плитах, в особенности подверженных циклическим динамическим нагрузкам, часто может приводить к образованию трещин и разрушению плит. В работе исследовалось поведение под нагрузкой жестких железобетонных

плит контейнерной площадки от перемещающегося по поверхности ричстакера (транспортного средства для погрузки контейнеров). Сложность проектирования таких плит заключается в том, чтобы исходя из надёжности и долговечности, правильно подобрать конструкцию дорожного полотна: геометрические и конструктивные характеристики слоев и прочностные характеристики материалов. Применение метода конечных элементов в таких задачах является достаточно трудоемким, так как требует высокого уровня квалификации инженеров-проектировщиков и значительных временных и трудовых затрат, что делает проектирование рутинным и мало целесообразным. В данной работе исследован альтернативный подход, основанный на применении искусственной сверточной нейронной сети (CNN) с архитектурой U-Net, позволяющий получить достаточно точное предсказание напряжений в плите значительно быстрее и проще в сравнении с методом конечных элементов.

Данные для обучения нейронной сети

Набор данных, используемый в этом исследовании для обучения CNN, был получен посредством параметрического моделирования в ПК ЛИРА-САПР. Всего было выполнено 125 численных расчетов (образов) с заложенной изначально возможностью варьирования на разных уровнях трех параметров: 1) величины нагрузки от колес, передвигающегося по поверхности плиты покрытия контейнерной площадки ричстакера с контейнером; 2) расположения двух передних наиболее нагруженных колес на поверхности плиты; 3) форма плиты покрытия контейнерной площадки в плане. 125 численных расчетов были разделены на две группы: 100 расчетов были предназначены для обучения CNN с целью предсказания величины напряжений в плите, распределенных по ее поверхности; 25 расчетов были предназначены для оценки точности разработанной модели CNN.

Исходные данные, предназначенные для формирования карт признаков CNN, характеризующих распознаваемый образ, формировали двумя различными методами, что позволило рассмотреть две расчетных нейросетевых модели.

В модели 1 исходные данные подавались в виде четырех цифровых карт признаков размерностью 56×56 : карты признаков формы плиты; карты нагрузок; двух карт привязки расположения нагрузки от колес ричстакера на поверхности плиты. В модели 2 исходные данные подавались в виде одной цифровой карты признаков размерностью 56×56 , в которой отображались координаты точек плиты с шагом 0,1 м и величина вертикальной сосредоточенной нагрузки на плиту в каждой координате.

На выходе необходимо было получить напряжения в плите, распределенные по площади ее поверхности. Полученные для обучения CNN в ПК ЛИРА-САПР напряжения были сформированы в карту напряжений, в которой каждый элемент представлял напряжения в соответствующей точке железобетонной плиты.

Результаты расчетов и их анализ

В результате проведенного исследования установлено, что в модели 1 компоновка входных данных была выполнена лучше, чем в модели 2. Об этом свидетельствует скорость и качество обучения нейронной сети, а также численная статистическая оценка достоверности совпадения тренировочных,

полученных при расчете методом конечных элементов, и предсказанных нейросетью значений напряжений. Достаточно близкое совпадение ошибок тренировочной и валидационной выборки в модели 1 наблюдается после 120 эпох обучения и сохраняется до конца обучения (рисунок 1, а). Расхождение ошибок тренировочной и валидационной выборок составляет около 17 %.

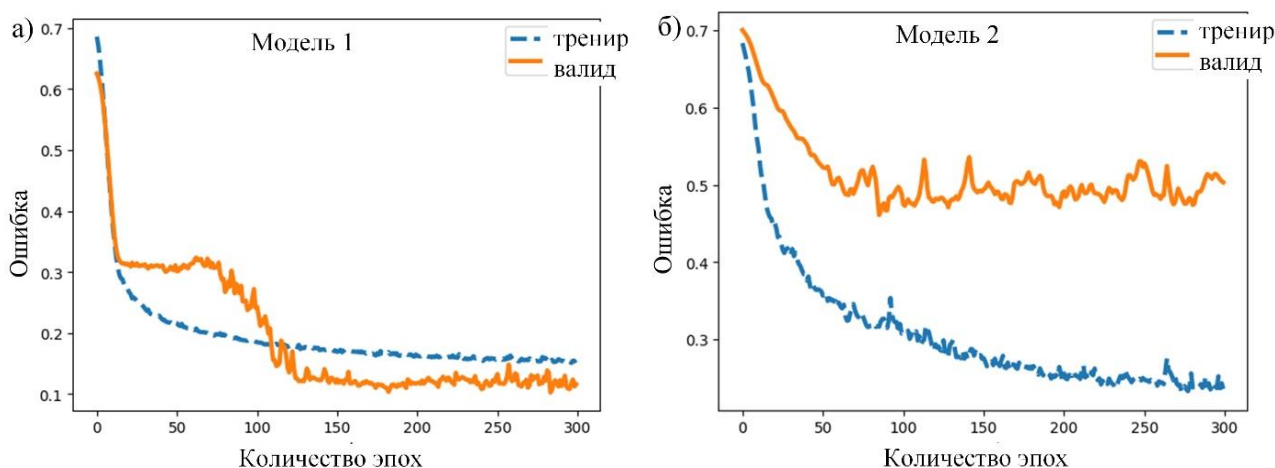


Рисунок 1 – Параметры обучения нейронной сети по модели 1 (а) и модели 2 (б)

Оценивая точность предсказанных с применением нейронной сети напряжений в железобетонных плитах, использовали известные математические статистики: среднюю абсолютную ошибку (MAE), стандартное отклонение ($RMSE$), коэффициент корреляции Пирсона (r), коэффициента детерминации (R^2). Кроме этого были определены величина поправочного коэффициента b для среднего отклонения тренировочных и предсказанных значений напряжений, значения средней ошибки моделей Δ , полученное по вектору ошибок δ , и коэффициент вариации V_δ вектора ошибок δ , рассчитанные в соответствии с процедурой, приведенной в приложении Д ТКП EN 1990 [2]. Указанные статистические параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистические параметры, характеризующие степень точности разработанных моделей нейронной сети

Модель	$RMSE$	MAE	r	R^2	b	δ	V_δ
Модель 1	0,478	0,305	0,924	0,854	0,928	0,428	0,015
Модель 2	0,637	0,424	0,862	0,733	0,853	0,658	0,146

Картина распределения напряжений в железобетонных плитах приведена на рисунках 2 и 3, а соотношение тренировочных и предсказанных напряжений в железобетонных плитах – на рисунке 4.

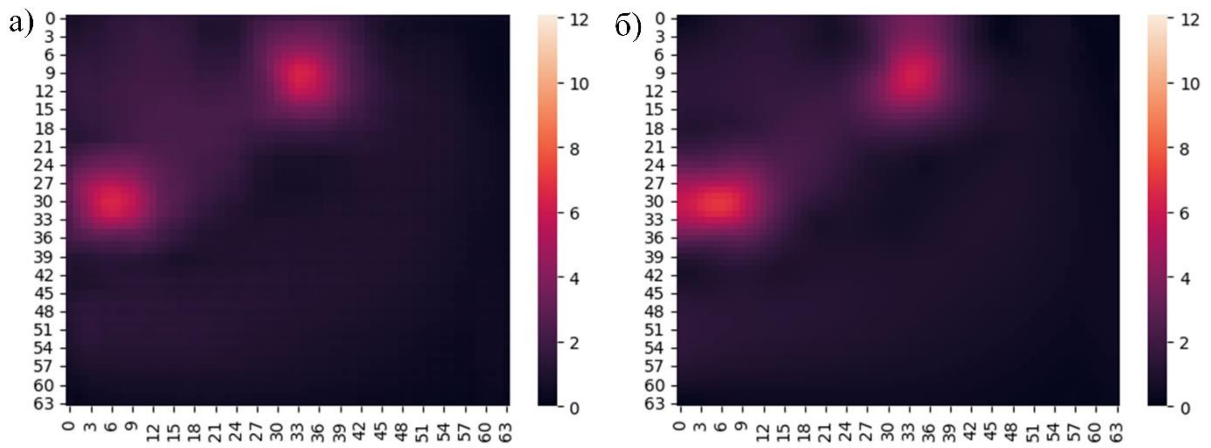


Рисунок 2 – Распределение предсказанных по модели 1 (а) и тренировочных (б) напряжений в железобетонных плитах

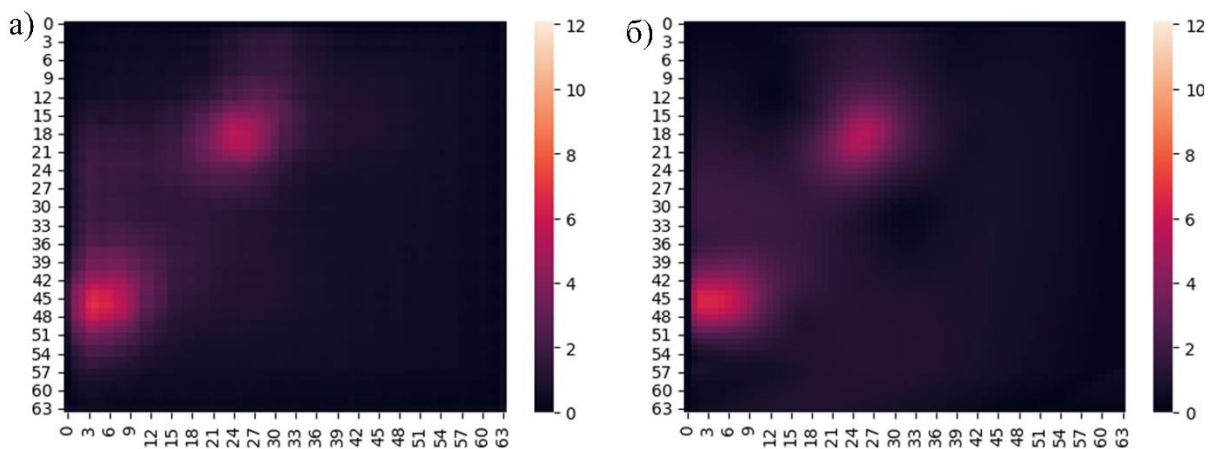


Рисунок 3 – Распределение предсказанных по модели 2 (а) и тренировочных (б) напряжений в железобетонных плитах

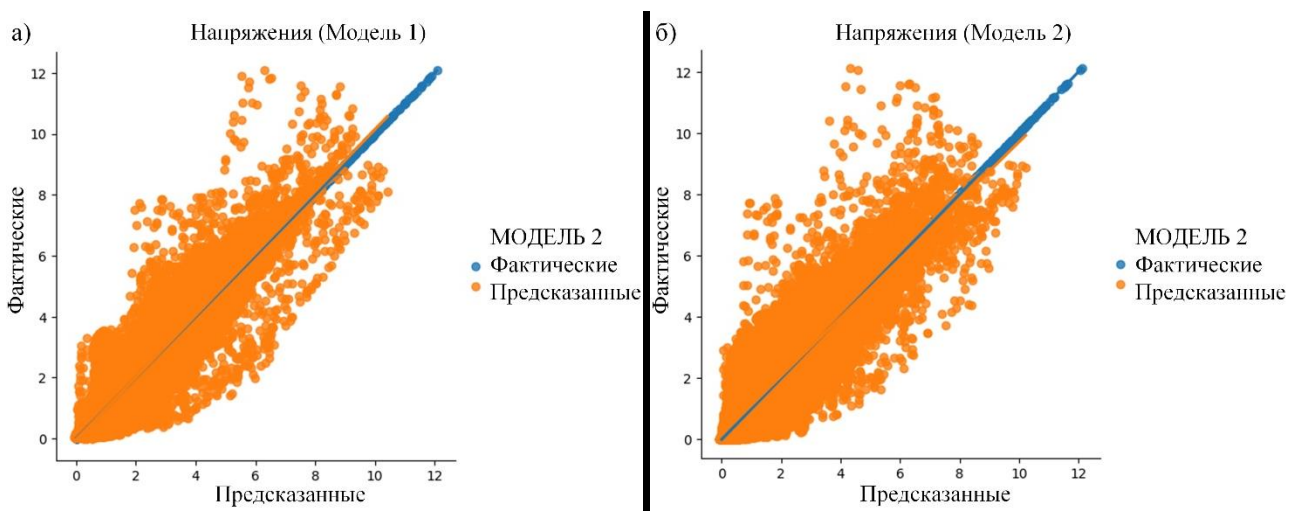


Рисунок 4 – Соотношение тренировочных и предсказанных с применением модели 1 (а) и модели 2 (б) напряжений в железобетонных плитах

В среднем предсказанные значения напряжений превышают тренировочные на 7 % по модели 1 и на 15 % по модели 2, о чем свидетельствует величина поправочного коэффициента b для среднего отклонения (рисунок 4, таблица 1), определяемая по выражению

$$b = \frac{\sum \sigma_a \sigma_p}{\sum \sigma_p^2}, \quad (1)$$

где σ_a , σ_p – соответственно тренировочные и предсказанные напряжения в железобетонной плите [2].

Учитывая малочисленность обучающей выборки, это характеризует предсказательную способность моделей как относительно высокую, но недостаточно безопасную. Также нельзя говорить о высокой плотности распределения предсказанных значений напряжений вдоль прямой тренировочных значений. Большинство предсказанных значений, а это около 85–90 %, отклоняются от нее в пределах 25 %. Максимальное отклонение, больше характерное для низких величин напряжений, составляет около 80 % (рисунок 4).

Об относительно невысокой плотности данных свидетельствует также среднее значение напряжений в железобетонных плитах, которое составило для тестовой выборки 0,938 МПа. Величина средней абсолютной ошибки для модели 1 получена $MAE = 0,305$, а для модели 2 – $MAE = 0,424$. Это составляет соответственно 33 % и 45 % от максимального напряжения. Стандартное отклонение, равное для моделей 1 и 2 соответственно $RMSE = 0,478$ и $RMSE = 0,637$, составляет 51 % и 68 % максимального напряжения.

Принято считать достаточно хорошими расчетные модели с коэффициентом детерминации выше 0,8 и коэффициентом корреляции выше 0,9. При коэффициенте детерминации равном 1 имеется функциональная зависимость между сравниваемыми величинами. В нашем исследовании при сравнении тренировочных и предсказанных напряжений значения коэффициента корреляции (для моделей 1 и 2 $r = 0,924$; $0,862$) и коэффициента детерминации (для моделей 1 и 2 $R^2 = 0,854$; $0,733$) соответствуют приведенным выше критериям только для модели 1 (таблица 1).

Коэффициент вариации вектора ошибок δ , равных для моделей 1 и 2 соответственно 0,015 и 0,146, меньше величины 0,33, что свидетельствует о достаточно высокой однородности исследуемой совокупности данных [3].

Анализ результатов статистического исследования показывает, что модель 1 точнее предсказывает величину напряжений в плите. Причина этого может заключаться в том, что исходные данные для первой модели, которые подаются в виде карт признаков, формируют общий многослойный образ объекта. Каждая карта признаков передает параметры одного слоя этого образа. Все карты объединены в единый образ общей геометрической формой объекта. Во второй модели имеется только одна карта признаков, а общая геометрия образа просматривается лишь косвенно посредством координат пространства, которые наделены необходимыми признаками.

В целом можно отметить, что несмотря на то, что большинство статистических параметров имеют не самые лучшие значения, предсказательную способность моделей, построенных на базе сверточной нейронной сети с архитектурой u-net, можно считать достаточно высокой. Авторы считают, что основная причина погрешности моделей заключается в небольшом объеме выборки обучающих данных.

Выводы

Анализ результатов статистического исследования показывает, что модель 1 точнее предсказывает величину напряжений в плите по причине более эффективной подачи исходных данных.

В целом, несмотря на то, что большинство статистических параметров имеют не самые лучшие значения, предсказательную способность моделей, построенных на базе сверточной нейронной сети с архитектурой u-net, можно считать достаточно высокой. Авторы считают, что основная причина погрешности моделей заключается в небольшом объеме выборки обучающих данных.

Список цитированных источников

1. Бетонные и железобетонные конструкции = Бетонныя і жалезабетонныя канструкцыі : СП 5.03.01-2020. – Введ. 16.09.2020. – Минск : РУП «Стройтехнорм» : Мин. арх. и стр. Респ. Беларусь, 2020. – 244 с.

2. Основы проектирования строительных конструкций = Асновы праектавання будаўнічых канструкцый : ТКП EN 1990-2011. – Введ. 15.11.2012. – Минск : СЕН/ТС 250 Конструкционные Еврокоды : Мин. арх. и стр. Респ. Беларусь, 2011. – 70 с.

3. Коэффициент вариации (Variation coefficient) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wiki.loginom.ru/articles/variation-coefficient.html>. – Дата доступа: 28.02.2024.

УДК 624.04(75.8)

Никитина А. А.

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

ВНУТРЕННИЕ СИЛЫ В ДВУХШАРНИРНЫХ КРУГОВЫХ АРКАХ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ, РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ

Рассматриваются двухшарнирные арки кругового очертания постоянной жесткости пролетом l , нагруженные статическими вертикальными распределенными по параболической зависимости нагрузками (рисунок 1).

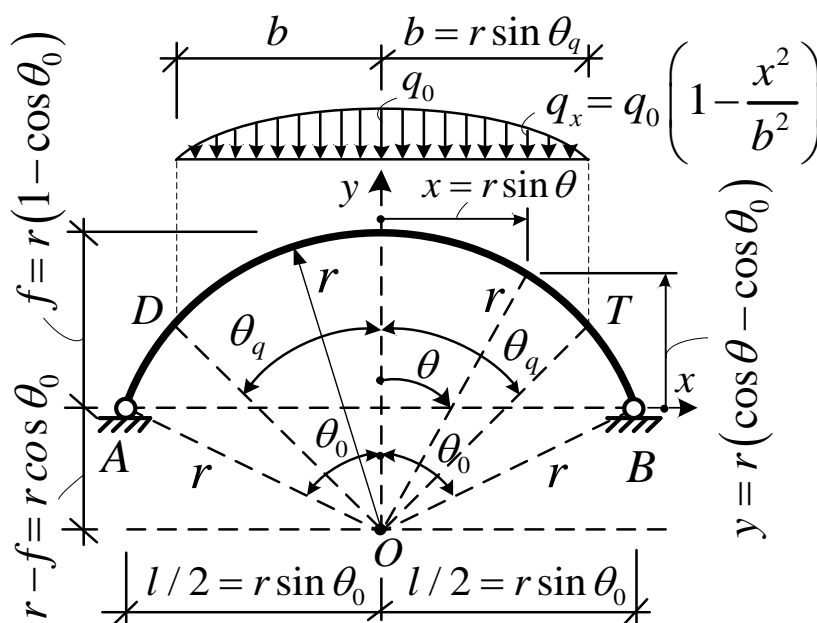


Рисунок 1 – Расчетная схема арки

В работе [1] выполнен расчет рассматриваемой арки методом сил, определено неизвестное метода сил X_1 и получены зависимости для единичных усилий (4) и для грузовых (8–14) усилий в основной системе метода сил, на основе которых несложно получить зависимости для внутренних сил – изгибающих моментов, поперечных и продольных сил – в произвольном сечении арки как статически неопределимой системы:

а) на участке AD (рисунок 1)

$$M_{\theta(1)} = -r(\cos\theta - \cos\theta_0) \cdot X_1 + R_A(l/2 + r\sin\theta); \quad (1)$$

$$Q_{\theta(1)} = \sin\theta \cdot X_1 + R_A \cos\theta; \quad (2)$$

$$N_{\theta(1)} = -\cos\theta \cdot X_1 + R_A \sin\theta, \quad (3)$$

где вертикальные опорные реакции равны $R_A = R_B = \frac{2}{3}q_0b$;

б) на участке DT (рисунок 1)

$$M_{\theta(2)} = -r(\cos\theta - \cos\theta_0) \cdot X_1 + \frac{1}{2}R_B \cdot l + q_0 \left(-\frac{1}{4}b^2 - \frac{1}{2}r^2 \sin^2\theta + \frac{1}{12} \frac{r^4}{b^2} \sin^4\theta \right); \quad (4)$$

$$Q_{\theta(2)} = \sin\theta \cdot X_1 + q_0 r \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) (\theta_q - \theta) + \frac{r^2}{4b^2} (\sin 2\theta_q - \sin 2\theta) \right] \cos\theta; \quad (26)$$

$$N_{\theta(2)} = -\cos\theta \cdot X_1 + q_0 r \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) (\theta_q - \theta) + \frac{r^2}{4b^2} (\sin 2\theta_q - \sin 2\theta) \right] \sin\theta. \quad (27)$$

в) на участке TB (рисунок 1)

$$M_{\theta(1)} = -r(\cos\theta - \cos\theta_0) \cdot X_1 + R_B \left(\frac{l}{2} - r\sin\theta \right); \quad (28)$$

$$Q_{\theta(1)} = \sin\theta \cdot X_1 - R_B \cos\theta; \quad (29)$$

$$N_{\theta(1)} = -\cos\theta \cdot X_1 - R_B \sin\theta. \quad (30)$$

На основе полученных зависимостей составлена MathCad-программа, которая позволяет выполнять расчет внутренних сил в сечениях арки и анализ их изменения для различных параметров арки и нагрузки.

Ниже представлен пример расчета двухшарнирной арки, показанной на рисунке 2, имеющей прямоугольное поперечное сечение ($\eta = 1,2$) и постоянную жесткость: $EJ = 1000 \text{ кН}\cdot\text{м}^2$; $GA = 15000 \text{ кН}$; $EA = 40000 \text{ кН}$.

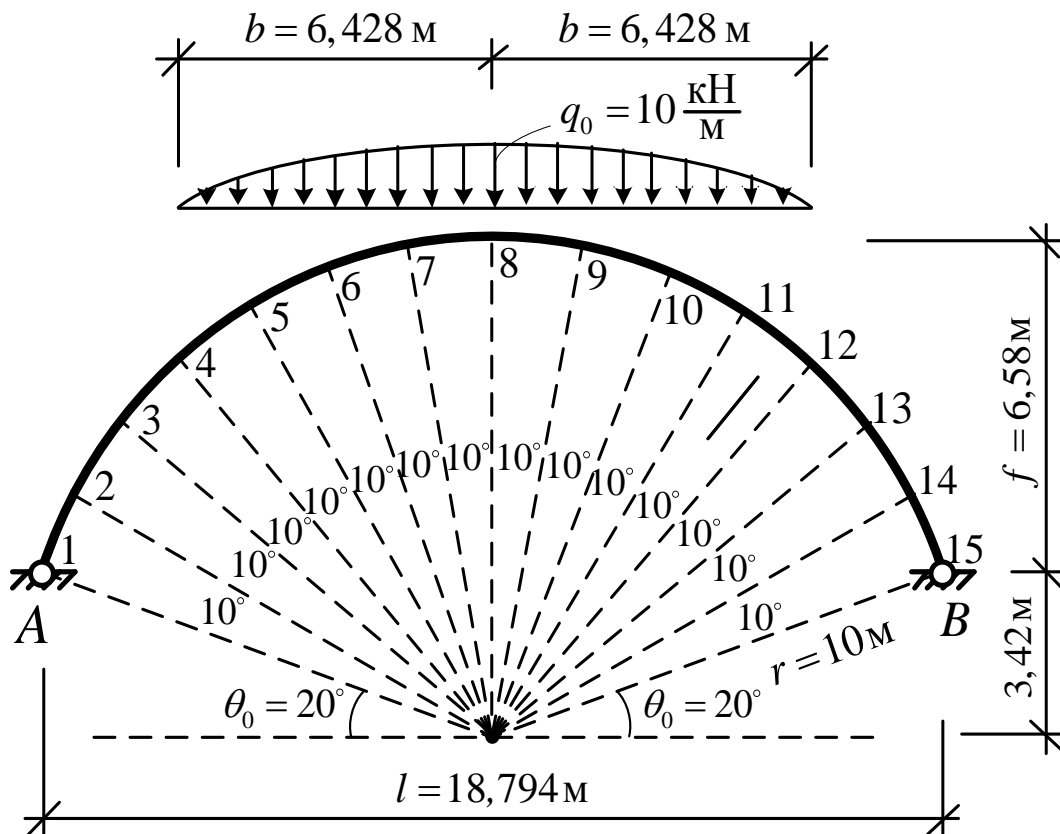


Рисунок 2 – Расчетная схема примера арки

Учитывая сложный криволинейный характер изменения усилий по длине арки и невозможность их вычисления во всех сечениях арки (их бесконечное множество), выполнять расчет усилий будем в сечениях арки с определенным шагом. Эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил для рассматриваемой арки, вычисленные с шагом $\Delta\theta = 10^\circ$, показаны на рисунках 3–5.

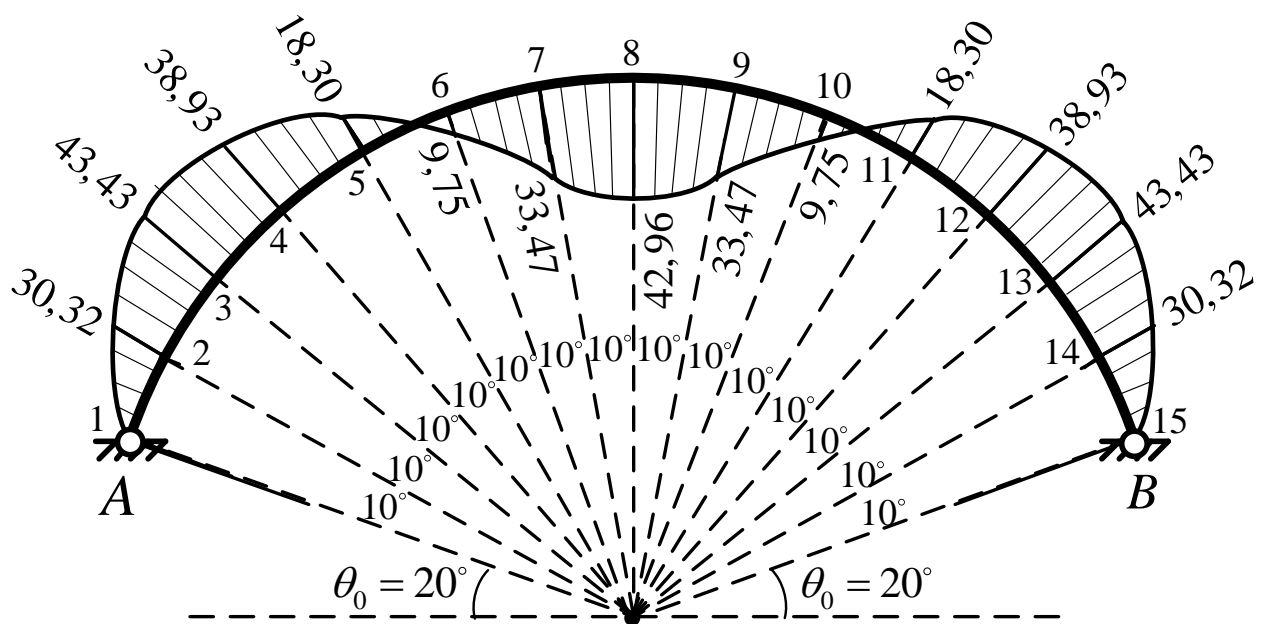


Рисунок 3 – Эпюра изгибающих моментов M

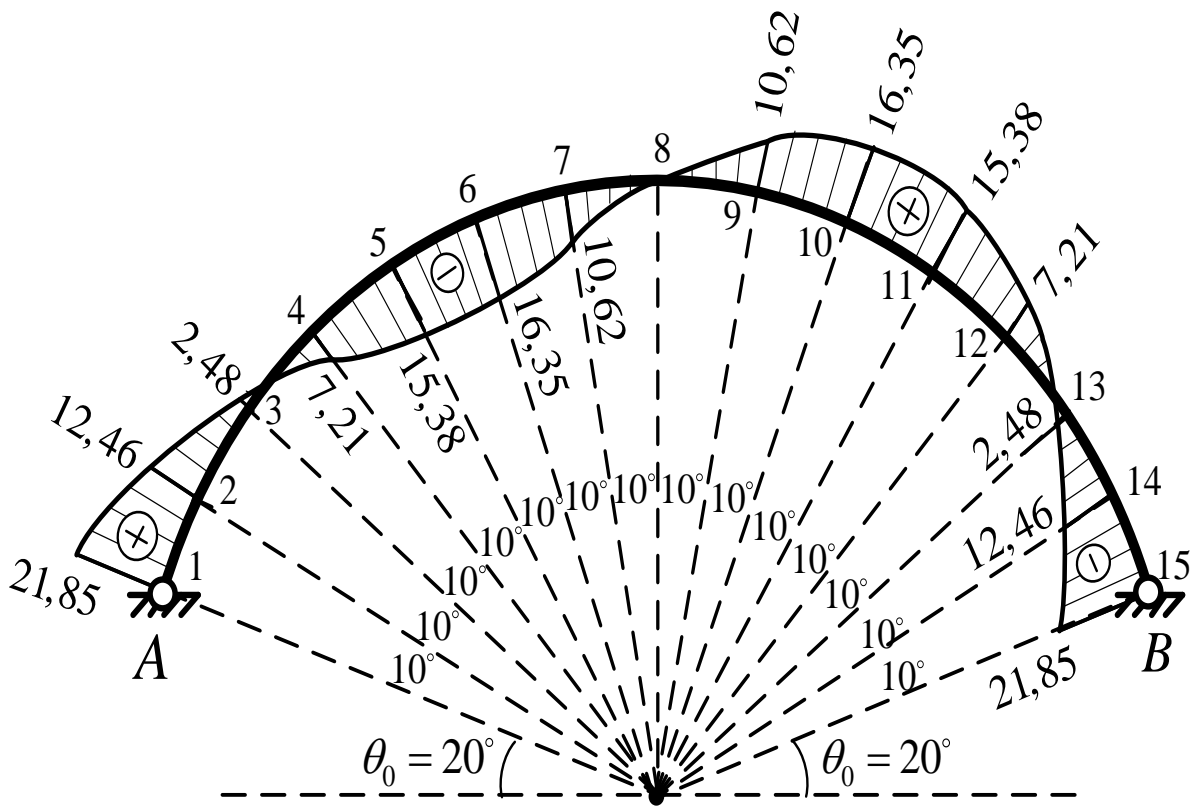


Рисунок 4 – Эюры поперечных сил Q

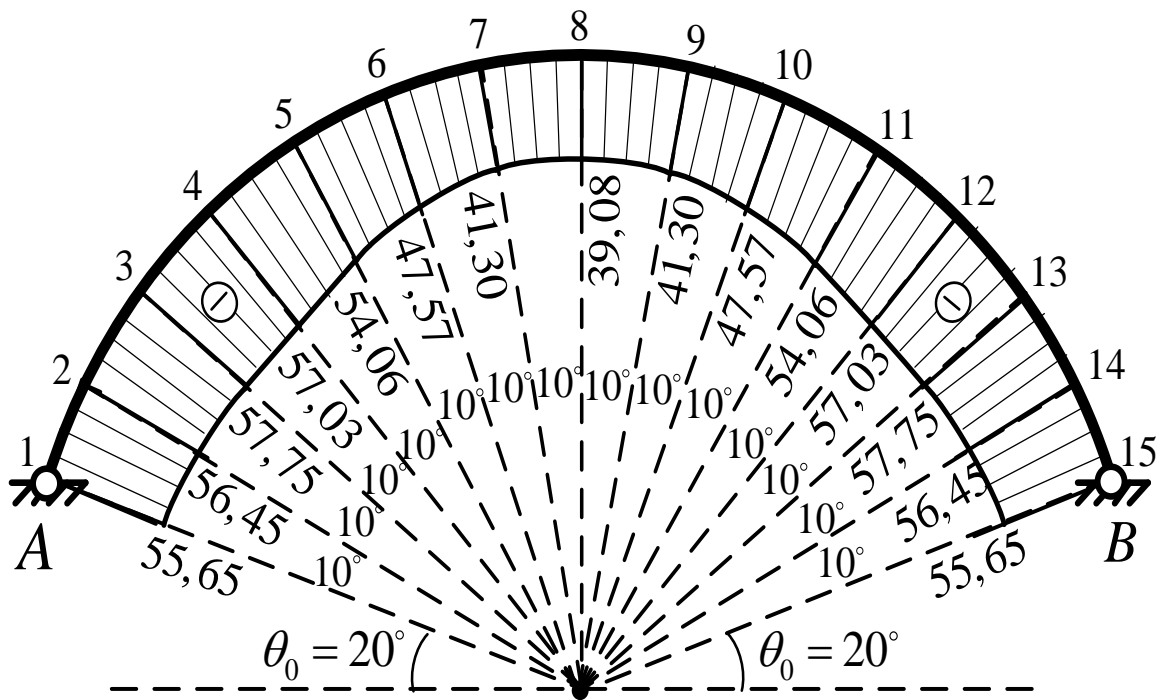


Рисунок 5 – Эюры продольных сил N

Список цитированных источников

1. Никитина, А. А. Расчет двухшарнирной круговой арки, нагруженной распределенной по параболической зависимости нагрузкой, методом сил / А. А. Никитина // Сб. конкурс. науч. работ студ. и магистр. / Брест. гос. техн. ун-т : в 2 ч. – Брест : БрГТУ, 2024. – Ч. 1.

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ДВУХШАРНИРНЫХ КРУГОВЫХ АРОК, НАГРУЖЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ, РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ

Рассматриваются двухшарнирные арки кругового очертания постоянной жесткости пролетом l , нагруженные статическими вертикальными распределенными по параболической зависимости нагрузками (рисунок 1).

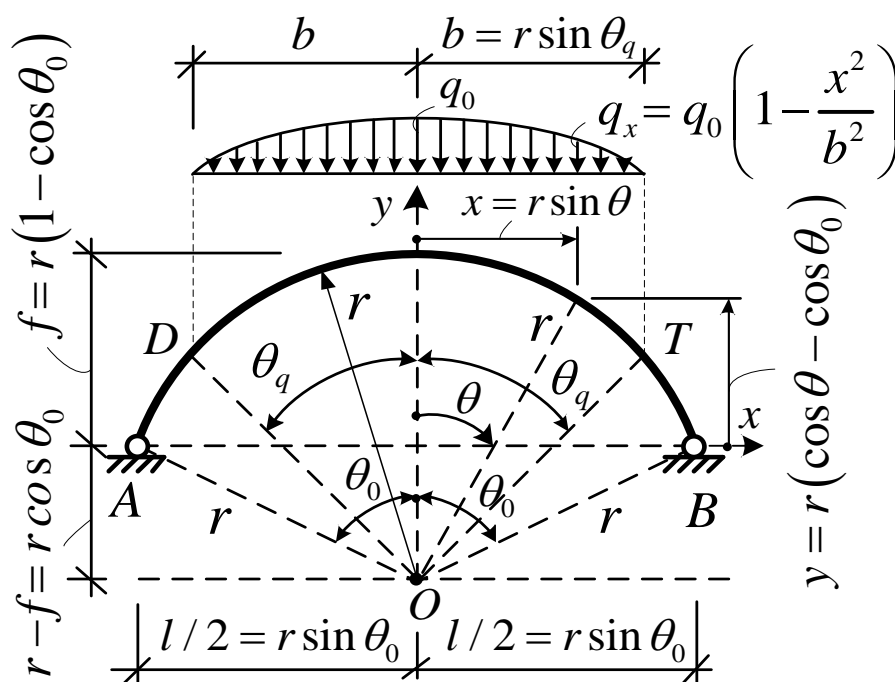


Рисунок 1 – Расчетная схема арки

Деформированный вид любой системы определяется перемещениями ее сечений. Для определения перемещений воспользуемся формулой Мора [1]

$$\Delta_{iP} = \sum \int \frac{\bar{M}_i M_P ds}{EJ} + \sum \int \eta \frac{\bar{Q}_i Q_P ds}{GA} + \sum \int \frac{\bar{N}_i N_P ds}{EA}, \quad (1)$$

где M_P , Q_P , N_P – изгибающие моменты, поперечные и продольные силы в системе от действия внешней нагрузки, от которой определяется перемещение (зависимости для этих усилий получены в работах [2, 3]);

\bar{M}_i , \bar{Q}_i , \bar{N}_i – изгибающие моменты, поперечные и продольные силы в системе от действия единичной силы, приложенной в точке, для которой определяется перемещение, в направлении искомого перемещения (i -ом);

EJ , GA , EA – жесткости соответственно при изгибе, сдвиге и продольном растяжении-сжатии;

η – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений при изгибе.

Подставив в (1) зависимости изменения усилий от внешних нагрузок [2, 3] и единичных усилий \bar{M}_i , \bar{Q}_i , \bar{N}_i (получены ниже) и выполнив интегрирование, получим искомое грузовое перемещение. При этом единичные усилия можно находить в статически определимой системе.

Учитывая, что направление полных перемещений неизвестно, определяются отдельно вертикальное и горизонтальное перемещения, зная которые несложно вычислить величину и направление полного перемещения.

Для определения вертикальных перемещений сечений при использовании формулы Мора приложим к точке на оси сечения вертикальную единичную силу (рисунок 10), от ее действия найдем опорные реакции и зависимости изменения внутренних сил, которые затем подставим в формулу Мора (31) и, выполнив вычисление интегралов Мора, сможем получить величины искомых перемещений.

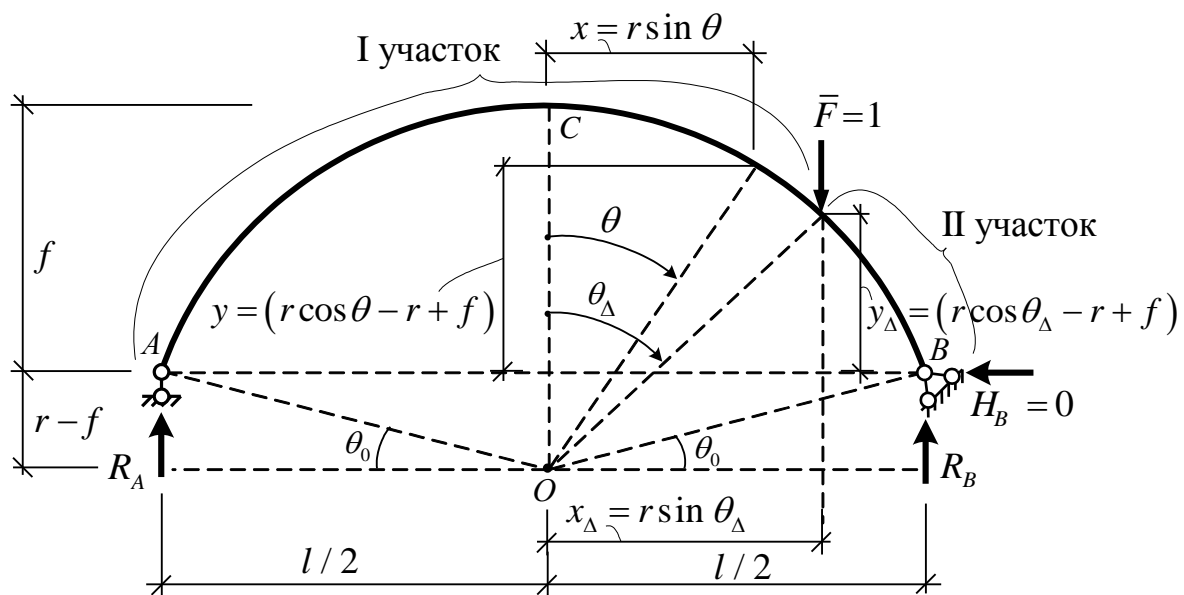


Рисунок 2 – Приложение единичной силы для определения вертикальных перемещений

Опорные реакции найдем из уравнений равновесия арки

$$\sum M_B = 0; \quad -1 \cdot \left(\frac{l}{2} - x_\Delta \right) + R_A l = 0; \quad R_A = \frac{1}{2} - \frac{x_\Delta}{l} = \frac{1}{2} - \frac{r}{l} \sin \theta_\Delta.$$

$$\sum y = 0; \quad 1 - R_A - R_B = 0; \quad R_B = \frac{1}{2} + \frac{x_\Delta}{l} = \frac{1}{2} + \frac{r}{l} \sin \theta_\Delta.$$

Внутренние силы в сечениях арки определяются выражениями:

а) на участке от опоры А до точки приложения силы (участок I) (рисунок 2)

$$\bar{M}_{\Delta\theta(I)} = R_A \left(\frac{l}{2} + x \right) = \frac{l}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{r}{l} \sin \theta_\Delta \right) + r \left(\frac{1}{2} - \frac{r}{l} \sin \theta_\Delta \right) \sin \theta; \quad (2)$$

$$\bar{Q}_{\Delta\theta(I)} = R_A \cos \theta = \left(\frac{1}{2} - \frac{r}{l} \sin \theta_\Delta \right) \cos \theta; \quad (3)$$

$$\bar{N}_{\Delta\theta(I)} = -R_A \sin \theta = - \left(\frac{1}{2} - \frac{r}{l} \sin \theta_\Delta \right) \sin \theta; \quad (4)$$

а) на участке от точки приложения силы до опоры B (участок II) (рисунок 2)

$$\bar{M}_{\Delta\epsilon(\text{II})} = \bar{M}_{\Delta\epsilon(\text{I})} - 1 \cdot (x - x_{\Delta}) = \frac{l}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{3r}{l} \sin \theta_{\Delta} \right) + r \left(\frac{3}{2} - \frac{r}{l} \sin \theta_{\Delta} \right) \sin \theta; \quad (5)$$

$$\bar{Q}_{\Delta\epsilon(\text{II})} = \bar{Q}_{\Delta\epsilon(\text{I})} - 1 \cdot \cos \theta = - \left(\frac{1}{2} + \frac{r}{l} \sin \theta_{\Delta} \right) \cos \theta; \quad (6)$$

$$\bar{N}_{\Delta\epsilon(\text{II})} = -R_A \sin \theta + 1 \cdot \sin \theta = \left(\frac{1}{2} + \frac{r}{l} \sin \theta_{\Delta} \right) \sin \theta. \quad (7)$$

Теперь вертикальное перемещение любого сечения арки в соответствии с полученными зависимостями можно определить по выражению (1), выполняя интегрирование по участкам одновременной непрерывности эпюр и суммирование по всем этим участкам. Например, для точек участка от опоры A до начала действия нагрузки будем иметь выражение

$$\Delta_q^{\text{верт}} = \frac{1}{EJ} \left(\int_{-\theta_0}^{-\theta_{\Delta}} M_{q(1)} \bar{M}_{\Delta\epsilon(\text{I})} dx + \int_{-\theta_{\Delta}}^{-\theta_q} M_{q(1)} \bar{M}_{\Delta\epsilon(\text{II})} dx + \int_{-\theta_q}^{\theta_q} M_{q(2)} \bar{M}_{\Delta\epsilon(\text{II})} dx + \int_{\theta_q}^{\theta_0} M_{q(3)} \bar{M}_{\Delta\epsilon(\text{II})} dx \right) +$$

$$+ \frac{\eta}{GA} \left[\int_{-\theta_0}^{-\theta_{\Delta}} Q_{q(1)} \bar{Q}_{\Delta\epsilon(\text{I})} dx + \int_{-\theta_{\Delta}}^{-\theta_q} Q_{q(1)} \bar{Q}_{\Delta\epsilon(\text{II})} dx + \int_{-\theta_q}^{\theta_q} Q_{q(2)} \bar{Q}_{\Delta\epsilon(\text{II})} dx + \int_{\theta_q}^{\theta_0} Q_{q(3)} \bar{Q}_{\Delta\epsilon(\text{II})} dx \right] +$$

$$+ \frac{1}{EA} \left[\int_{-\theta_0}^{-\theta_{\Delta}} N_{q(1)} \bar{N}_{\Delta\epsilon(\text{I})} dx + \int_{-\theta_{\Delta}}^{-\theta_q} N_{q(1)} \bar{N}_{\Delta\epsilon(\text{II})} dx + \int_{-\theta_q}^{\theta_q} N_{q(2)} \bar{N}_{\Delta\epsilon(\text{II})} dx + \int_{\theta_q}^{\theta_0} N_{q(3)} \bar{N}_{\Delta\epsilon(\text{II})} dx \right]. \quad (8)$$

Горизонтальные перемещения сечений определяются аналогично, при этом к сечениям прикладывается горизонтальная единичная сила.

На основе полученных зависимостей выполним расчет перемещений сечений арки, рассмотренной в работе [3] (рисунок 3), имеющей прямоугольное поперечное сечение ($\eta = 1,2$) и постоянную жесткость, характеризующуюся величинами: $EJ = 1000 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$; $GA = 15000 \text{ кН}$; $EA = 40000 \text{ кН}$.

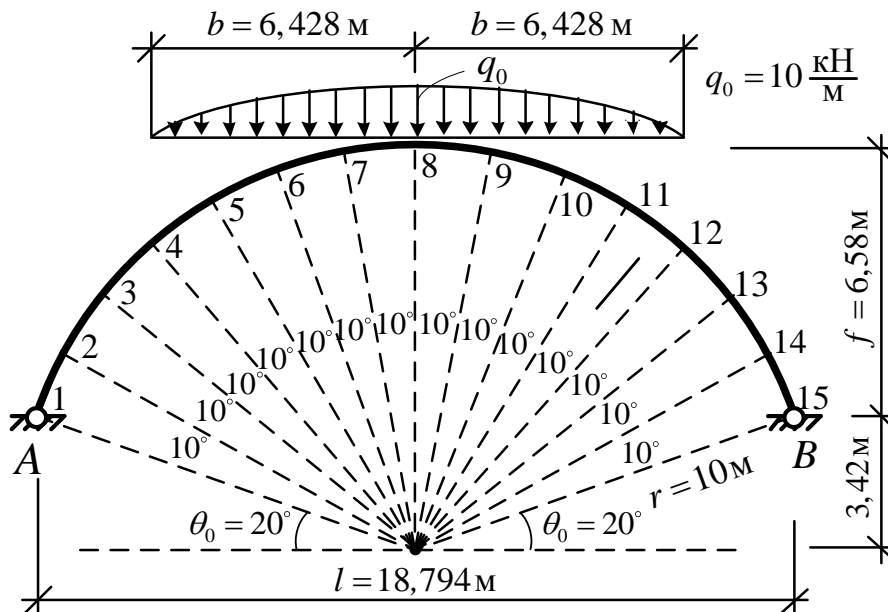


Рисунок 3 – Расчетная схема арки

Расчет выполнен в системе компьютерной алгебры «Mathcad». Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Перемещения узловых точек арки, м

№ узла	1	2	3	4	5	6	7
Перемещение:							
по горизонтали	0	-0,1563	-0,2297	-0,2067	-0,1254	-0,04458	-0,00385
по вертикали	0	-0,0402	0,1186	0,0920	-0,0284	-0,2068	-0,3663
полное	0	0,1614	0,2585	0,2263	0,1286	0,2116	0,3663

№ узла	8	9	10	11	12	13	14	15
Перемещение:								
по горизонтали	0	-0,00385	-0,04458	-0,1254	-0,2067	-0,2297	-0,1563	0
по вертикали	-0,4302	-0,3663	-0,2068	-0,0284	0,0920	0,1186	-0,0402	0
полное	-0,4302	0,3663	0,2116	0,1286	0,2263	0,2585	0,1614	0

На основании полученных результатов представим в выбранном масштабе деформированный вид оси арки:

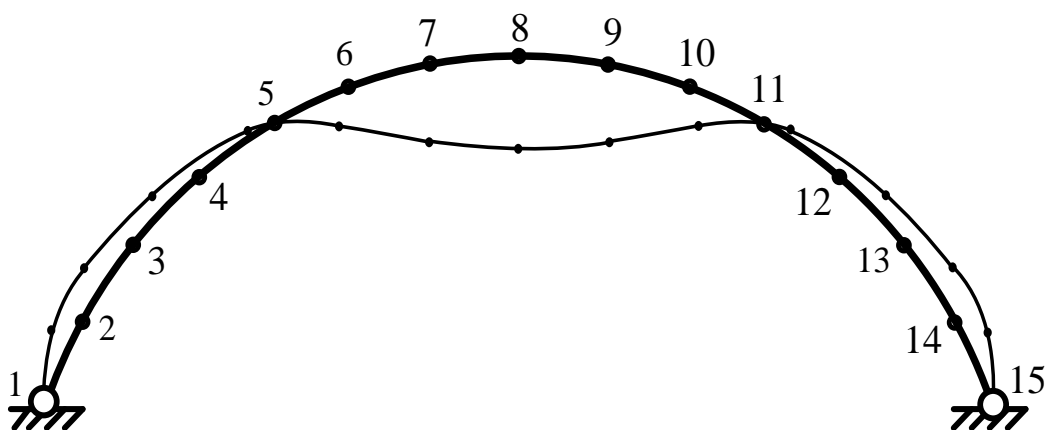


Рисунок 4 – Деформированный вид арки (в масштабе перемещений 7:1)

В выражение для перемещений (1) входит три слагаемых, учитывающих соответственно действие трех видов возникающих в системе внутренних сил M , Q и N и соответственно возникающих от этих усилий изгибных, сдвиговых и продольных деформаций. Вычисляя эти слагаемые отдельно, можно выявить влияние изгибных, сдвиговых и продольных деформаций на величины перемещений в системе.

Список цитированных источников

1. Дарков, А. В. Строительная механика : учебник / А. В. Дарков. – М. : Высшая школа, 1976. – 600 с.
2. Никитина, А. А. Расчет двухшарнирной круговой арки, нагруженной распределенной по параболической зависимости нагрузкой, методом сил / А. А. Никитина // Сб. конкурс. науч. работ студ. и магистр. / Брест. гос. техн. ун-т : в 2 ч. – Брест : БрГТУ, 2024. – Ч. 1.
3. Никитина, А. А. Внутренние силы в двухшарнирных круговых арках при действии вертикальной нагрузки, распределенной по параболической зависимости / А. А. Никитина // Сб. конкурс. науч. работ студ. и магистр. / Брест. гос. техн. ун-т : в 2 ч. – Брест : БрГТУ, 2024. – Ч. 1.

РАСЧЕТ ДВУХШАРНИРНОЙ КРУГОВОЙ АРКИ, НАГРУЖЕННОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ НАГРУЗКОЙ, МЕТОДОМ СИЛ

Рассматриваются двухшарнирные арки кругового очертания постоянной жесткости пролетом l , нагруженные статическими вертикальными распределенными по параболической зависимости нагрузками (рисунок 1). Выполним расчет рассматриваемых арок, который позволит находить зависимости изменения внутренних сил в таких системах.

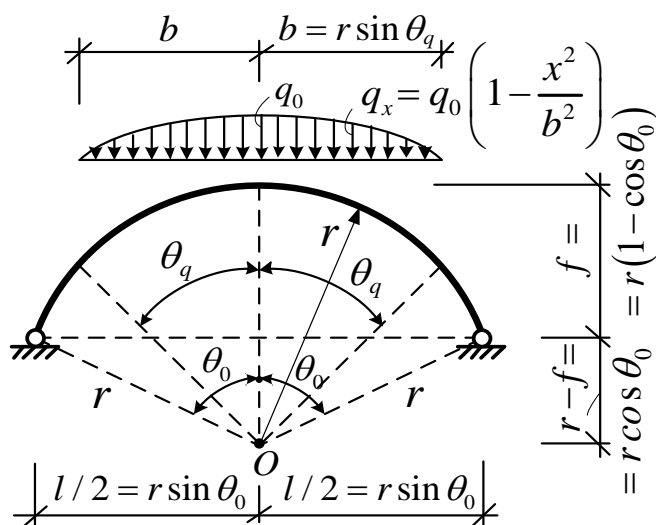


Рисунок 1 – Расчетная схема арки

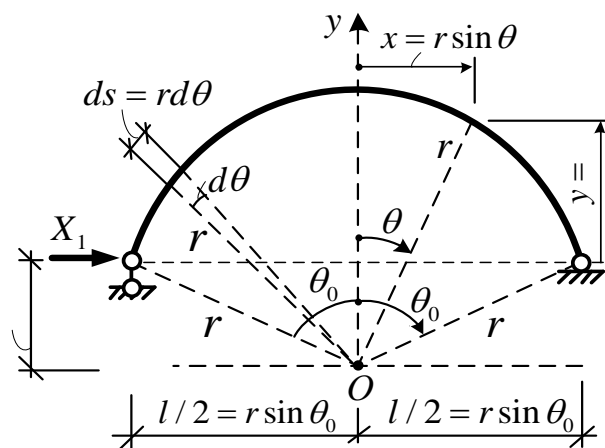


Рисунок 2 – Основная система метода сил

Для арок, оси которых изменяются по окружности, получение 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

$$r = \frac{l^2/4 + f^2}{2f}; \quad l = 2r \sin \theta_0; \quad f = r(1 - \cos \theta_0); \quad \operatorname{tg} \theta_0 = \frac{l}{2(r - f)}; \quad ds = r d\theta. \quad (2)$$

Двухшарнирная арка является статически неопределимой системой, имеющей одну лишнюю связь, и ее расчет будем выполнять методом сил. Рассматриваемая арка (рисунок 1) является симметричной относительно оси y , а при рассматриваемой нагрузке и симметрично нагружена, поэтому при ее расчете целесообразно использовать упрощения симметрии [2]. Основную систему метода сил получим, отбросив левую горизонтальную связь (рисунок 2). Ввиду отсутствия горизонтальных внешних нагрузок такая основная система метода сил удовлетворяет всем условиям симметрии.

Каноническое уравнение метода сил записывается в виде [1]

$$\delta_{11} X_1 + \Delta_{1P} = 0. \quad (3)$$

Выражения для внутренних усилий в сечениях основной системы метода сил (для произвольного сечения x (θ)) от действия единичного неизвестного ($X_1 = 1$) записываются в виде:

$$\bar{M}_1 = -y = -r(\cos \theta - \cos \theta_0); \quad \bar{Q}_1 = \sin \theta; \quad \bar{N}_1 = -\cos \theta. \quad (4)$$

Единичное перемещение δ_{11} (6) вычислим по формуле Мора

$$\delta_{11} = \int_0^s \frac{\bar{M}_1^2 ds}{EJ} + \int_0^s \eta \frac{\bar{Q}_1^2 ds}{GA} + \int_0^s \frac{\bar{N}_1^2 ds}{EA}, \quad (5)$$

где EJ , GA , EA – жесткости сечений арки соответственно на изгиб, сдвиг и растяжение-сжатие; η – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений по высоте сечений при изгибе.

Подставив выражения (4) в (5), учитывая, что $ds = r d\theta$ (2), и выполнив интегрирование по θ (в пределах от $-\theta$ до $+\theta$), получим перемещение δ_{11} в виде

$$\delta_{11} = \frac{r^3}{EJ} \left[\theta_0 (1 + 2 \cos^2 \theta_0) - 1,5 \sin 2\theta_0 \right] + \frac{\eta r}{GA} \left[\theta_0 - \frac{1}{2} \sin 2\theta_0 \right] + \frac{r}{EA} \left[\theta_0 + \frac{1}{2} \sin 2\theta_0 \right], \quad (6)$$

где первое слагаемое учитывает влияние изгибающих моментов, второе и третье – соответственно поперечных и продольных сил.

Внешняя нагрузка, действующая на арку, изменяется по параболической зависимости и симметрична (рисунок 4).

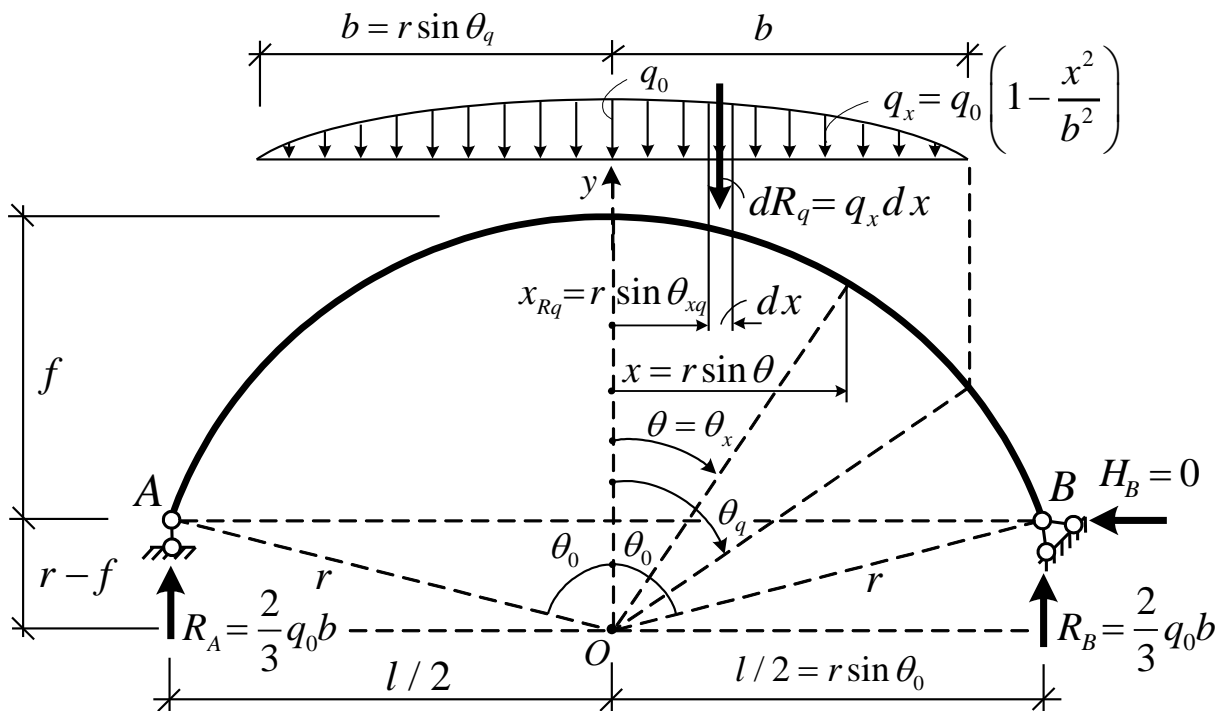


Рисунок 4 – Расчетная схема действия внешней нагрузки

Равнодействующая внешней нагрузки равна:

$$R_q = \int_{-b}^b q dx = q_0 \int_{-b}^b \left(1 - \frac{x^2}{b^2}\right) dx = \frac{4}{3} q_0 b.$$

Вертикальные опорные реакции ввиду симметричности системы и нагрузки будут равны половине равнодействующей нагрузки

$$R_A = R_B = \frac{2}{3} q_0 b. \quad (7)$$

Для получения выражений внутренних сил в сечении x от действия внешних нагрузок, распределенных по параболической зависимости, рассмотрим равновесие правых частей арки относительно сечений и выразим внутренние силы через опорные реакции и внешнюю нагрузку (рисунок 5).

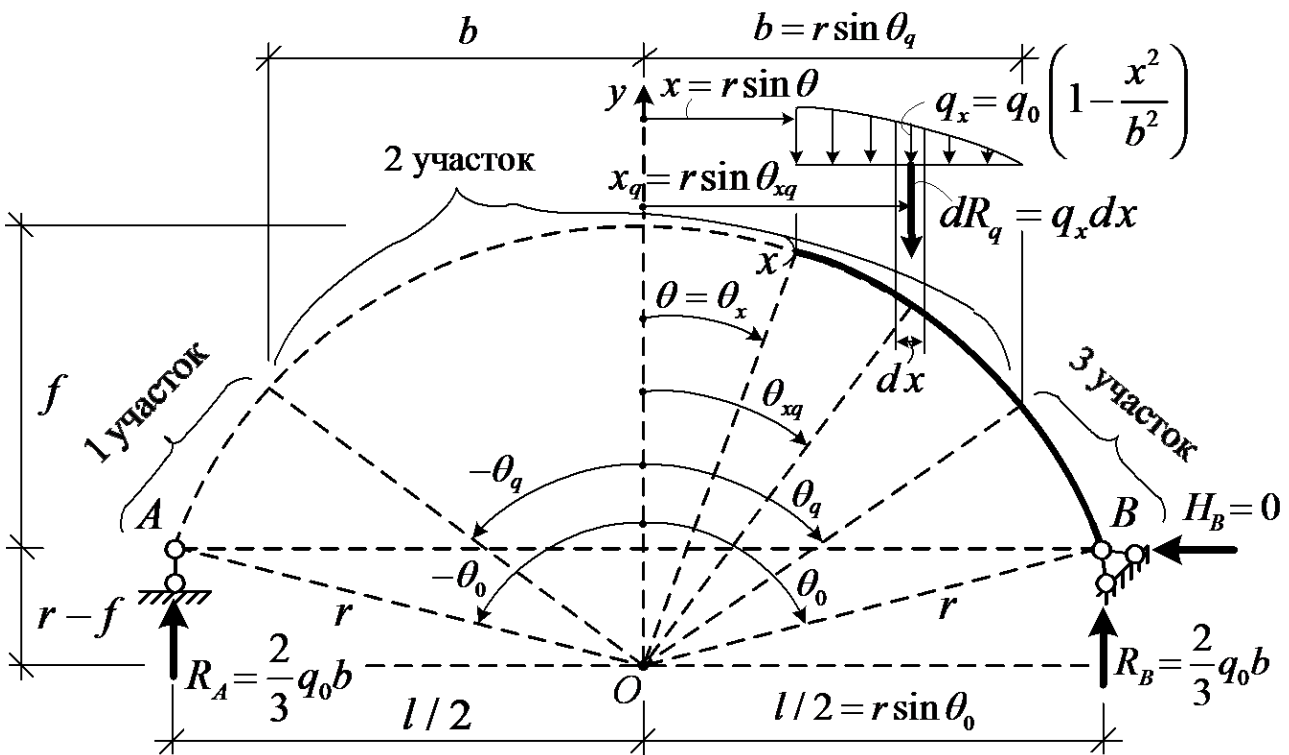


Рисунок 5 – Правая отсеченная часть арки

На участке 1 при рассмотрении левой части арки изгибающий момент в сечении можно выразить только через опорную реакцию

$$M_{q(1)} = R_A \left(\frac{l}{2} + x \right) = R_A \left(\frac{l}{2} + r \sin \theta \right). \quad (8)$$

Изгибающий момент в сечении, расположенном на участке действия распределенной нагрузки (участок 2 – см. рисунок 5), вычислим из рассмотрения правой части, интегрируя элементарную нагрузку на бесконечно малом участке dx в пределах действия нагрузки

$$M_{q(2)} = R_B \cdot \left(\frac{l}{2} - x \right) - q_0 \int_x^b \left(1 - \frac{x_q^2}{b^2} \right) (x_q - x) dx_q =$$

$$= +R_B \left(\frac{l}{2} - x \right) - q_0 \left[\frac{1}{2} (b^2 - x^2) - x(b - x) - \frac{1}{4b^2} (b^4 - x^4) + \frac{x}{3b^2} (b^3 - x^3) \right],$$

или в полярной системе координат

$$M_{q(2)} = \frac{1}{2} R_B \cdot l + q_0 \left(-\frac{1}{4} b^2 - \frac{1}{2} r^2 \sin^2 \theta + \frac{1}{12} \frac{r^4}{b^2} \sin^4 \theta \right). \quad (9)$$

На участке 3 (без распределенной нагрузки) изгибающий момент в сечении при рассмотрении правой части, будет определяться только опорной реакцией

$$M_{q(3)} = R_B \left(\frac{l}{2} - x \right) = R_B \left(\frac{l}{2} - r \sin \theta \right). \quad (10)$$

Поперечная сила на участках 1, 2 и 3 определится зависимостями

$$Q_{q(1)} = R_A \cos \theta; \quad Q_{q(3)} = -R_B \cos \theta; \quad (11)$$

$$Q_{q(2)} = -R_B \cos \theta + \left[q_0 r \int_{\theta}^{\theta_q} \left(1 - \frac{r^2 \sin^2 \theta}{b^2} \right) d\theta \right] \cos \theta =$$

$$= q_0 r \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) (\theta_q - \theta) + \frac{r^2}{4b^2} (\sin 2\theta_q - \sin 2\theta) \right] \cos \theta. \quad (12)$$

Продольная сила на участках 1, 2 и 3 определяется зависимостями

$$N_{q(1)} = R_A \sin \theta; \quad N_{q(3)} = -R_B \sin \theta; \quad (13)$$

$$N_{q(2)} = -R_B \sin \theta + \left[q_0 r \int_{\theta}^{\theta_q} \left(1 - \frac{r^2 \sin^2 \theta}{b^2} \right) d\theta \right] \sin \theta =$$

$$= q_0 r \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) (\theta_q - \theta) + \frac{r^2}{4b^2} (\sin 2\theta_q - \sin 2\theta) \right] \sin \theta. \quad (14)$$

Грузовое перемещение найдём по формуле Мора вида [1]

$$\Delta_{1q} = \Delta_{1q}^M + \Delta_{1q}^Q + \Delta_{1q}^N = \sum \int \frac{\bar{M}_1 M_q ds}{EJ} + \sum \int \eta \frac{\bar{Q}_1 Q_q ds}{GA} + \sum \int \frac{\bar{N}_1 N_q ds}{EA}. \quad (15)$$

Вычислим отдельно каждое из слагаемых, учитывающих соответственно три вида внутренних сил в арке – усилия M , Q и N . Учитывая симметричность арки, нагрузки и эпюры усилий, выполним интегрирование отдельно по правой половине участка 2 и участку 3 и удвоим полученные результаты

$$\begin{aligned}
\Delta_{1q}^M &= \frac{2}{EJ} \left[\int_0^{\theta_q} (M_{q(2)} \cdot \bar{M}_{1x}) + \int_{\theta_q}^{\theta_0} (M_{q(3)} \cdot \bar{M}_{1x}) \right] r d\theta = \\
&= \frac{2}{EJ} \int_0^{\theta_q} \left\{ \left[\frac{1}{2} R_B \cdot l + q_0 \left(-\frac{1}{4} b^2 - \frac{1}{2} r^2 \sin^2 \theta + \frac{1}{12} \frac{r^4}{b^2} \sin^4 \theta \right) \right] \cdot [-r(\cos \theta - \cos \theta_0)] \right\} r d\theta + \\
&\quad + \frac{2}{EJ} \int_{\theta_q}^{\theta_0} \left\{ R_B \left(\frac{l}{2} - r \sin \theta \right) \cdot [-r(\cos \theta - \cos \theta_0)] \right\} r d\theta = \\
&= \frac{q_0 r^4}{EJ} \left\{ \left(\frac{2lb}{3r^2} - \frac{b^2}{2r^2} \right) (\theta_q \cos \theta_0 - \sin \theta_q) + \frac{2}{3} \sin^3 \theta_q + \cos \theta_0 \left(\frac{1}{2} \sin 2\theta_q - \theta_q \right) + \right. \\
&\quad \left. + \frac{r^2}{6b^2} \left[\frac{1}{4} \sin \theta_0 \left(\theta_q - \sin 2\theta_q + \frac{1}{8} \sin 4\theta_q - \frac{1}{5} \sin^5 \theta_q \right) \right] \right\} + \frac{4q_0 b r^3}{3EJ} \left\{ \frac{1}{2} (\sin^2 \theta_0 - \sin^2 \theta_q) - \right. \\
&\quad \left. - \frac{l}{2r} (\sin \theta_0 - \sin \theta_q) + \cos \theta_0 \left[(\cos \theta_0 - \cos \theta_q) + \frac{l}{2r} (\theta_0 - \theta_q) \right] \right\}; \quad (16)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{1q}^Q &= \frac{2}{GA} \left[\int_0^{\theta_q} (Q_{q(2)} \bar{Q}_{1x}) + \int_{\theta_q}^{\theta_0} (Q_{q(3)} \bar{Q}_{1x}) \right] r d\theta = \frac{2}{GA} \int_0^{\theta_q} \left\{ q_0 r \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) (\theta_q - \theta) + \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \frac{r^2}{4b^2} (\sin 2\theta_q - \sin 2\theta) \right] \cos \theta \sin \theta \right\} r d\theta - \frac{2}{GA} \int_{\theta_q}^{\theta_0} \left(\frac{2q_0 b}{3} \cos \theta \sin \theta \right) r d\theta = \\
&= \frac{q_0 r^2}{GA} \left\{ \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) \theta_q + \frac{r^2}{4b^2} \sin 2\theta_q \right] \cdot \sin^2 \theta_q + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) \left[\theta_q (\cos 2\theta_q - 1) - \frac{1}{2} \sin 2\theta_q \right] + \right. \\
&\quad \left. + \frac{r^2}{8b^2} \left(\frac{1}{4} \sin 4\theta_q - \theta_q \right) + \frac{2b}{3r} (\sin^2 \theta_q - \sin^2 \theta_0) \right\}; \quad (17)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta_{1q}^N &= \frac{2}{EA} \left[\int_0^{\theta_q} (N_{q(2)} \bar{N}_{1x}) + \int_{\theta_q}^{\theta_0} (N_{q(3)} \bar{N}_{1x}) \right] r d\theta = \quad (18) \\
&= \frac{2}{EA} \int_0^{\theta_q} \left\{ q_0 r \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) (\theta_q - \theta) + \frac{r^2}{4b^2} (\sin 2\theta_q - \sin 2\theta) \right] \sin \theta \cos \theta \right\} r d\theta + \\
&\quad + \frac{2}{EA} \int_{\theta_q}^{\theta_0} \left(\frac{2q_0 b}{3} \sin \theta \cos \theta \right) r d\theta = \frac{q_0 r^2}{EA} \left\{ - \left[\frac{2b}{3r} + \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) \theta_q + \frac{r^2}{4b^2} \sin 2\theta_q \right] \cdot \sin^2 \theta_q - \right. \\
&\quad \left. - \left(1 - \frac{r^2}{3b^2} \right) \left[\theta_q (\cos 2\theta_q - 1) - \frac{1}{2} \sin 2\theta_q \right] - \frac{r^2}{8b^2} \left(\frac{1}{4} \sin 4\theta_q - \theta_q \right) - \frac{2b}{3r} (\sin^2 \theta_q - \sin^2 \theta_0) \right\};
\end{aligned}$$

Подставляя вычисленные единичное и грузовое перемещения в уравнение (3) и решая его, найдем неизвестное метода сил X_1 , зная которое зависимости для внутренних сил в сечениях арки могут быть получены по формулам:

$$\begin{aligned}
 M_{\theta} &= \bar{M}_{1\theta} \cdot X_1 + M_{q\theta}; \\
 Q_{\theta} &= \bar{Q}_{1\theta} \cdot X_1 + Q_{q\theta}; \\
 N_{\theta} &= \bar{N}_{1\theta} \cdot X_1 + N_{q\theta}.
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Список цитированных источников

1. Дарков, А. В. Строительная механика : учебник / А. В. Дарков. – М. : Высшая школа, 1976. – 600 с.

УДК 316.4

Пенченков И. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Густова А. Ю.

КОМФОРТ И УСТОЙЧИВОСТЬ: АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ УЛИЦ ГОРОДА БРЕСТА

Введение

Архитектурная среда улиц города играет ключевую роль в формировании комфортной и устойчивой городской среды. Исследование архитектурной среды улиц города Бреста имеет особое значение, учитывая его историческое наследие, географическое положение и социокультурный контекст. В данной работе проведен анализ пяти участков улицы Советской в городе Бресте с целью выявления проблем, преимуществ и недостатков архитектурной среды.

Цель исследования заключается в систематическом изучении архитектурной среды улиц города Бреста с точки зрения комфорта и устойчивости. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- Описать особенности и характеристики каждого из пяти участков улицы Советской.
- Выявить проблемы, влияющие на комфорт, с которыми сталкиваются жители и посетители улицы Советской.
- Определить преимущества и достоинства архитектурной среды каждого участка.
- Предложить рекомендации по улучшению архитектурной среды улиц города Бреста на основе проведенного анализа.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью создания современной, функциональной и устойчивой городской среды, способствующей повышению качества жизни горожан и привлечению туристов. Результаты исследования могут быть использованы городскими властями, архитекторами и градостроителями для принятия обоснованных решений по улучшению архитектурной среды города Бреста.

Понятие комфорта

Комфорт в контексте городской среды относится к уровню удобства, удовлетворения и благополучия, которое люди ощущают в данном месте или пространстве. Комфорт может включать в себя физиологические, психологические

и социальные аспекты, такие как температура, шум, доступность зеленых насаждений, общественного транспорта и др. [1].

Понятие устойчивости

Устойчивость в городской среде относится к способности сохранять и обеспечивать высокий уровень комфорта и качества жизни при различных изменениях и вызовах, таких как изменение климата, демографические изменения, экономические факторы и т. д. Устойчивость включает в себя аспекты экологической, социальной и экономической устойчивости [2].

Общественное пространство, в частности улица, играет ключевую роль в концепции городского пространства Яна Гейла. Он подчеркивает важность создания городских пространств, ориентированных на людей, а не на автомобили. Улицы, по Гейлу, должны способствовать социальным взаимодействиям и повышению качества жизни горожан, предоставляя комфортное и безопасное пространство для пешеходов. Это достигается за счет уменьшения доминирования автотранспорта и создания условий для передвижения пешком, что ведет к оживлению уличной жизни и укреплению общественных связей [3].

Анализ архитектурной среды улиц города Бреста

Город Брест, расположенный на западе Беларуси, является одним из старейших исторических городов страны. Его богатое культурное наследие привлекает туристов со всего мира. Город имеет древнюю архитектуру, включающую элементы различных исторических эпох, начиная со Средневековья и заканчивая современностью.

Улица Советская является одной из основных туристических и торговых артерий города Бреста. Она имеет богатую историю и является символом культурного и коммерческого центра города. Архитектурная среда этой улицы сочетает в себе элементы разных эпох и стилей, что делает ее особенно привлекательной для посетителей.

На улице Советской можно наблюдать разнообразные архитектурные стили, от классических зданий с колоннами и барочными украшениями до современных высоток и торговых центров. Это создает уникальную атмосферу, где история и современность гармонично сочетаются.

Кроме того, улица Советская обладает развитой инфраструктурой, включая магазины, кафе, рестораны и развлекательные заведения, что делает ее популярным местом как для местных жителей, так и для туристов. Пешеходные зоны, зеленые насаждения и элементы уличного искусства также вносят свой вклад в создание комфортной и привлекательной атмосферы на улице Советской.

Элементы архитектурной среды улицы Советской, такие как фасады зданий, архитектурные детали, система освещения и озеленение, играют важную роль в формировании ее облика и воздействуют на восприятие горожан и гостей города.

Улица Советская в городе Бресте представляет собой интересный пример пешеходной улицы, где внимание уделяется созданию комфортной и устойчивой среды для жителей и посетителей. Она обладает разнообразными зонами отдыха, зелеными насаждениями, элементами инфраструктуры для защиты от погодных условий и удобными условиями для прогулок и отдыха.

Анализ участков улицы

В рамках анализа архитектурной среды улицы Советской было выделено пять участков, разделенных улицами и проездами (рисунок 1). Каждый из этих участков имеет свои характерные особенности и различия, которые важно учитывать при оценке общего состояния и потенциала улучшения архитектурной среды данной улицы.



Рисунок 1 – Членение улицы на пять отдельно рассматриваемых участка

Участок № 1

На первом участке улицы Советской, от проспекта Машерова до перекрестка с улицей Держинского, существует ряд проблем, оказывающих негативное влияние на комфорт и эстетику данной части городской среды. Одной из главных проблем является недостаточное освещение участка в ночное время. Несмотря на то, что на улице установлены газовые фонари, их количество заметно меньше, чем на других участках, что создает темные участки и визуально уменьшает безопасность для прохожих. Этот аспект существенно влияет на комфорт использования данного участка улицы, особенно в вечернее и ночное время.

Кроме того, на этом участке располагается аварийное здание, которое не только не функционирует, но и ограждено, что портит общий вид окружающей архитектурной среды и создает впечатление заброшенности и неряшливости. Этот фактор снижает привлекательность улицы и уменьшает ее эстетическую ценность.

Не менее важным является состояние фасадов зданий на окраинах улицы. Некоторые из них выглядят неухоженными и не красивыми, что создает контраст с более ухоженной и привлекательной частью улицы. Это различие может вызывать ощущение раздражения или даже иронии у горожан и посетителей, так как встречаются ситуации, когда красота улицы Советской заканчивается в переулках, оставляя неуклюжие впечатления от окружающей обстановки.

Участок № 2

На втором участке улицы Советской, расположенном между улицей Дзержинского и улицей Буденного, можно выделить особенность в виде избытка зон отдыха. Здесь проблем особых нет, а наоборот, обилие мест для отдыха, в том числе кафе на открытом воздухе, делает этот участок улицы привлекательным для людей, желающих провести время на свежем воздухе в приятной атмосфере.

Еще одной характеристикой этого участка является расположение зон отдыха на солнечных участках. Под солнечными участками подразумеваются места, где тени обусловлены только положением солнца. Это означает, что в этих местах в течение большей части дня можно наслаждаться ярким солнечным светом, что делает эти зоны более привлекательными для отдыхающих и посетителей улицы.

Изучение схематической карты позволяет понять, что данный участок улицы Советской больше подходит для тех, кто предпочитает отдыхать на открытом солнце или находиться рядом с местами, где светит яркое солнце. Эта особенность участка делает его привлекательным для тех, кто ценит теплую и светлую атмосферу во время отдыха или прогулок по городу.

Участок № 3

На третьем участке улицы Советской, между улицей Буденного и улицей Гоголя, впечатляет кинотеатр "Беларусь", который является значимой архитектурной достопримечательностью данной части города. Окружающее пространство вокруг кинотеатра характеризуется избытком открытых зон, на которые ярко светит солнце в ясные дни. Несмотря на то, что половина участка уязвима к яркому солнечному свету, это не является недостатком, так как большинство зон отдыха и кафе расположены на северной стороне участка, где тени обеспечивают деревья и здания.

На этом участке обилие зон отдыха и кафе делает его привлекательным для людей, предпочитающих отдыхать в тени или наслаждаться прогулкой под прохладным бризом. Это особенно актуально в летние месяцы, когда яркое солнце может быть слишком интенсивным для некоторых посетителей. В то же время, участок предоставляет возможность для тех, кто любит находиться на солнце и получать его положительные эффекты. Распределение зон отдыха на севере участка, где тени создают комфортную атмосферу, делает его уникальным пространством для разнообразных видов досуга и отдыха.

Участок № 4

Четвертый участок улицы Советской, между улицей Гоголя и улицей Маяковского, можно охарактеризовать как один из самых проблемных на всей улице, даже более проблемный, чем первый участок. Основные проблемы этого участка связаны с его абсолютной пустотой по сравнению с другими участками. На этом участке практически отсутствуют зоны отдыха и зеленые насаждения, что создает контраст с остальной частью улицы.

Отсутствие зон отдыха и зелени делает этот участок менее привлекательным для отдыхающих и прохожих, особенно в теплое время года, когда комфортная зона отдыха и тень от солнца могут быть крайне важны для людей. Кроме того, участок полностью уязвим к яркому солнечному свету, что может создавать

дискомфорт и увеличивать скорость ходьбы прохожих, стремящихся минимизировать время пребывания на открытом солнце.

Такая ситуация делает четвертый участок улицы Советской наиболее проблемным с точки зрения обеспечения комфортной и приятной атмосферы для жителей и посетителей. Решение этих проблем требует внимания к обновлению инфраструктуры, добавлению зон отдыха и зеленых насаждений, а также разработки мер по снижению воздействия яркого солнечного света на этом участке улицы.

Участок № 5

Пятый участок улицы Советской, расположенный между улицей Маяковского и улицей Пушкинской, является последним и самым северным участком этой пешеходной улицы и представляет собой пример оптимального благоустройства и комфортной атмосферы. Он полностью защищен от солнечных лучей благодаря обилию зеленых насаждений, что делает его пригодным для отдыха и прогулок даже в жаркое время года. Важно отметить, что на этом участке имеется несколько зон отдыха, что увеличивает его привлекательность для посетителей.

Одним из особых преимуществ пятого участка являются беседки, которые дополняют общую инфраструктуру зон отдыха. Беседки способны обеспечить защиту от солнца и дождя, что делает их универсальным решением для данной части улицы. Это позволяет посетителям не только наслаждаться природой и зелеными насаждениями, но и обеспечивает комфорт в различных погодных условиях. Такой подход к организации открытых пространств делает пятый участок улицы Советской примером успешного благоустройства, способствующего комфортному отдыху и пребыванию горожан и гостей города.

Заключение

По данным произведённого анализа можно сделать вывод, что улица Советская обладает как сильными сторонами, так и слабыми на разных участках. Для улучшения общего комфорта и привлекательности улицы необходимо провести ряд мероприятий, таких как улучшение освещения, обновление инфраструктуры зон отдыха, посадка дополнительной зелени и создание дополнительных элементов для защиты от солнца. Такой комплексный подход позволит сделать улицу Советскую еще более привлекательной и комфортной для жителей и посетителей города.

Список цитированных источников

1. A comprehensive review of outdoor thermal comfort in urban areas: Effective parameters and approaches / R. Aghamolaei [et al.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023EnEnv..34.2204A/abstract>. – Дата доступа: 10.04.2024.

2. Vukmirovic, M. The Improvement of the Comfort of Open Public Space: Vegetation and Green Infrastructure / M. Vukmirovic, S. Gavrilovic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/337404624_The_Improvement_of_the_Comfort_of_Public_Spaces_as_a_Local_Initiative_in_Coping_with_Climate_Change. – Дата доступа: 10.04.2024.

3. Гейл, Я. Города для людей / Я. Гейл. – М. : Альпина Паблшер, 2012. – 276 с.

ТЕХНОЛОГИИ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИНФОРМАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В настоящее время технологии информационного моделирования в строительстве (BIM-технологии) стремительно развиваются. Основным результатом проектирования с использованием BIM является цифровая информационная модель, используемая далее на всех этапах жизненного цикла объекта строительства. Использование BIM помогает оптимизировать процессы проектирования, выявления и исправления коллизий, а также капитального ремонта и демонтажа объекта.

При этом процесс проектирования здания или сооружения неизменно связан со множеством возникающих проблем, среди которых можно выделить следующие [1]:

- сложность взаимодействия между архитекторами и конструкторами;
- барьеры во взаимодействии между программными комплексами;
- ограниченные возможности программных комплексов по отдельным задачам;
- несовершенство нормативно-технической базы;
- сложность с проработкой оптимальных проектных решений.

С точки зрения архитектурного и строительного проектирования перспективными на пути решения этих проблем являются среды визуального программирования, как наиболее легкие в освоении и доступные специалистам без углубленных навыков владения написанием программного кода.

Они позволяют преодолеть ограниченные возможности программного обеспечения, могут устранять барьеры при взаимодействии между программными комплексами и снижать трудоемкость вариативной обработки проектных решений.

Технология визуального программирования – это способ создания программного кода с использованием визуальных элементов, таких как блоки, стрелки и объекты, вместо написания кода вручную. Этот подход делает процесс программирования более интуитивным и доступным для широкого круга пользователей, даже без глубоких знаний программирования [2].

У визуального программирования есть ряд преимуществ [3]:

– Интуитивный интерфейс. Визуальное программирование позволяет пользователю создавать программы с использованием графических элементов и блоков, что делает процесс разработки более интуитивным и понятным для неспециалистов.

– Визуальное представление алгоритмов. Блоки визуального программирования часто представляют собой конкретные действия или операции, что упрощает понимание алгоритмов и их последовательности выполнения.

– Удобство отладки. Визуальные среды программирования обычно предоставляют инструменты для отслеживания и исправления ошибок, что облегчает процесс отладки программ.

Но также присутствуют и недостатки:

– Ограниченные возможности. Визуальное программирование обычно ограничено набором готовых блоков и функций, что делает создание более сложных и масштабных программ более сложным.

– Сложность чтения и понимания. Визуальные программы могут быть сложными для понимания и чтения из-за большого количества блоков и соединений между элементами.

– Ограниченная гибкость. Визуальное программирование может ограничить гибкость разработки программы, поскольку не всегда есть возможность использовать нестандартные решения или изменять программу в соответствии с новыми требованиями.

Наиболее распространенными средствами визуального программирования в области строительного проектирования являются Dynamo и Grasshopper.

Dynamo интегрируется с Autodesk Revit, значительно упрощая процесс внедрения алгоритмического подхода к проектированию. Grasshopper, являющийся составной частью программы архитектурного моделирования от компании Rhinoceros McNeel, содержит более сложные инструменты для создания геометрических и числовых моделей, а также имеет возможность взаимодействовать с большим количеством других программных комплексов, так как поддерживает различные форматы файлов.

Приведем примеры задач в проектировании, которые можно решить с помощью визуального программирования на примере связки Autodesk Revit и Dynamo [4]:

- импорт/экспорт Excel, txt, csv, jpeg;
- создание криволинейной геометрии;
- копирование и перемещение элементов в Revit;
- создание элементов в Revit (стены, перекрытия, колонны, балки, размещаемые элементы по точке/по нескольким точкам, текст, элементы 2D-узла);
- создание видов, листов, добавление видов на листы;
- добавление общих параметров в проект, создание общих параметров;
- создание и редактирование спецификаций;
- заполнение/редактирование/удаление параметров;
- открытие окон запроса для заполнения полей/внесения информации;
- создание папок на компьютере;
- копирование/удаление файлов на компьютере;
- связь с базой данных SQL;
- открытие файла Revit;
- пакетная печать листов;
- армирование элементов в Revit;
- преобразование элементов DWG в элементы Revit;
- редактирование файла журнала Revit;
- управление рабочими наборами;
- создание статических спецификаций и схем из 2D-линий, 2D-элементов и текста.

При этом решение сложных комплексных задач может потребовать дополнительного использования программного кода в Python.

Среда визуального программирования Grasshopper является полезным инструментом в ситуациях, где необходимо моделировать конструкции сложной геометрии, и позволяет обработать архитектурную модель, то есть получить из нее конструктивную модель, которую уже можно отправить на расчет. В качестве примеров использования такого подхода можно привести уникальные сооружения – американские горки. При проектировании уникальных, сложных с архитектурной и конструктивной точки зрения объектов возможности Grasshopper раскрываются максимально (см. рисунок 1). Однако даже в относительно намного более распространенных объектах различных торговых центрах, офисных зданиях, отелях) есть место сложным геометрическим формам, а значит возможности для использования Grasshopper для построения архитектурных моделей, которые после преобразования в том же Grasshopper можно использовать для получения расчетных схем, и значительного упрощения процедур взаимодействия архитекторов и конструкторов.

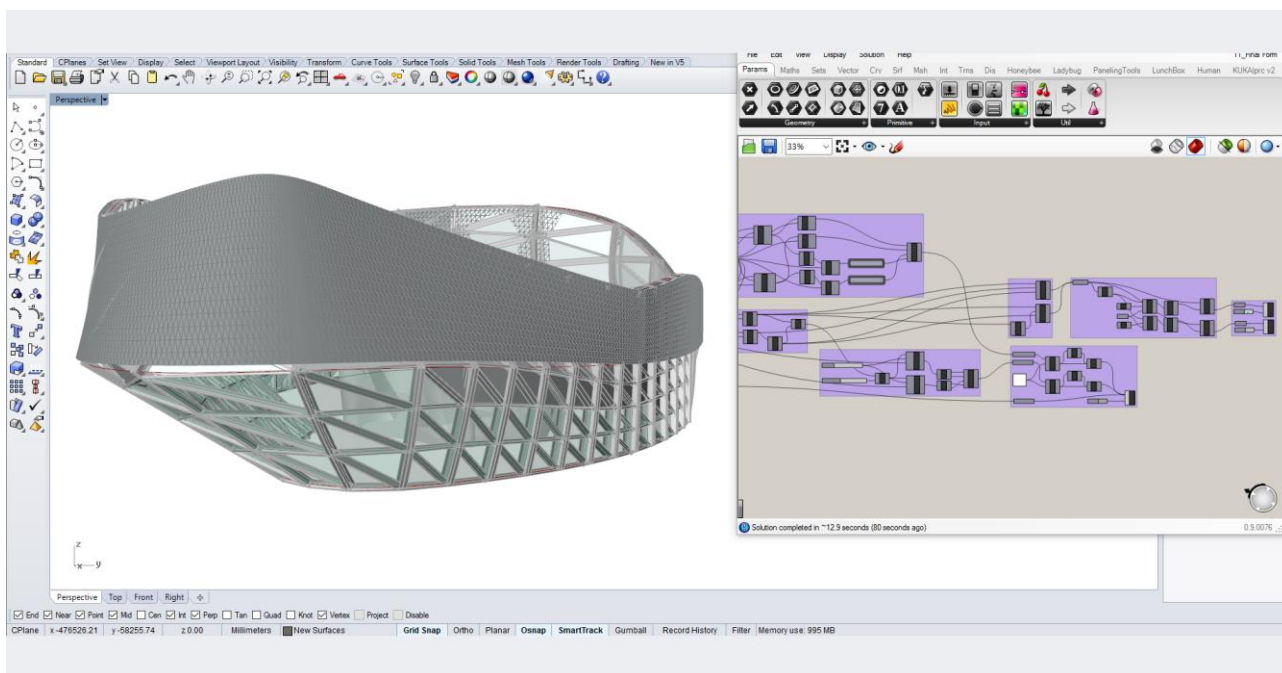


Рисунок 1 – Пример параметрического моделирования с помощью Grasshopper для проектирования конструкций, <https://www.novatr.com>

В связи с растущей тенденцией использования вычислительной мощности компьютеров для проектирования и, соответственно, основанного на этой мощности подхода к созданию проектов, широкое распространение получили методы использования вычислительной мощности компьютеров для автоматизации проектирования.

Задачи строительного и архитектурного проектирования, которые рационально решать с помощью визуального программирования, можно разделить по основному методу, лежащему в основе подхода. Классификация представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Классификация сфер применения визуального программирования

Параметрическое проектирование – это подход к проектированию, основанный на применении параметров для описания наборов конструкций.

Генеративное проектирование – это подход к проектированию, при котором используются алгоритмы для создания проектов.

Алгоритмическое проектирование – это подход к генеративному проектированию, характеризующийся идентифицируемой корреляцией между алгоритмом и его результатом.

Отдельно стоит упомянуть о возможностях визуального программирования в задачах оптимизации. В общем случае оптимизационные задачи можно разделить на задачи оптимизации отдельных строительных конструкций (балок, ферм) и задачи оптимизации всего здания/сооружения, т. е. совокупности взаимодействующих строительных конструкций.

Можем сделать вывод, что технология визуального программирования в области информационного моделирования зданий и сооружений представляет собой мощный инструмент, который может значительно упростить и ускорить процесс проектирования и разработки строительных объектов.

Список цитированных источников

1. Клековкин, Е. А. Применение визуального программирования для задач автоматизации в строительстве / Е. А. Клековкин, А. С. Сунцов // Construction and Geotechnics. – 2023. – Т. 14, № 2. – С. 128–143. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.10
2. Тищенко, Д. Система визуального программирования САПФИР-ГЕНЕРАТОР – компонент BIM-технологии / Д. Тищенко // САПР и графика. – 2018. – № 4(258). – С. 12–15.
3. Тамразян, А. Г. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений / А. Г. Тамразян, А. В. Алексейцев // Вестник Московского государственного строительного университета. – 2020. – Т. 15, № 1. – С. 12–30.
4. Муратов, В. Дунато: инструкция для новичков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/XIjpHVGw6kNu4uGF>. – Дата доступа: 21.04.2024.

УДК 621.311

Скиндер А. В.

Научный руководитель: ст. преподаватель Густова А. Ю.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КАК ВЕКТОР БУДУЩЕГО РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРЫ

Энергоэффективность – рациональное использование энергетических ресурсов, основная часть которых будет затрачена во время всего срока эксплуатации здания (кВт*ч / м² в год).

Эффективное использование энергетических ресурсов является приоритетной задачей и для большинства развитых, и основных развивающихся стран. Это обусловлено экономическими причинами и связано с энергетической безопасностью на национальном и международном уровне, а также с глобальными процессами изменения климата. Лидером в данном вопросе продолжает оставаться Евросоюз, опыт которого используют многие страны мира, включая Республику Беларусь [3].

Одной из наиболее острых проблем современных городов является загрязнение окружающей среды и воздуха. Особенно остро эта проблема стоит в крупных городах, где скапливается большое количество людей. Высокая плотность населения вынуждает использовать в городе все большее количество ресурсов на обогрев и охлаждение жилого фонда зимой и летом, вентилирование и освещение.

Главная задача современного проектирования зданий – это улучшение эффективности новых и уже построенных зданий, а именно уменьшение потребления энергии на обогрев, кондиционирование, вентиляцию и освещение, что благоприятно скажется на климате, экономике и удобстве горожан.

Стоимость энергоэффективного здания на этапе реализации будет выше обычной, но этот недостаток компенсируется будущей экономией ресурсов и средств на эксплуатацию.

Основой современного энергоэффективного здания является качественная теплоизоляция всех ограждающих конструктивных элементов для недопущения потери тепла. Вторым немаловажным фактором является герметичность здания, чтобы теплый воздух не имел возможности выхода наружу здания в холодный период.

Тепло и пароизоляцию проще и лучше проводить на простых архитектурных формах. Однако это не значит, что энергоэффективная архитектура будущего сводится к банальному формообразованию. Перед архитекторами и инженерами стоит сложная задача – поиск золотой середины между эстетичным обликом сооружения и его технической эффективностью. Современные тенденции строительства показывают, что нет неразрешимых задач. Мягкие утеплители, гнутые стеклопакеты, современные мембраны – это то, что позволяет делать энергоэффективными здания различных форм и назначений. Главными принципами современной архитектуры становятся рациональное и комфортное проектирование пространств, минимализм и простота формообразования зданий и сооружений, экологичность материалов и принципов строительства.

Климат оказывает значительное воздействие на выбор вариантов сохранения энергии и функций пассивного отопления и охлаждения и, в свою очередь, на архитектуру здания.

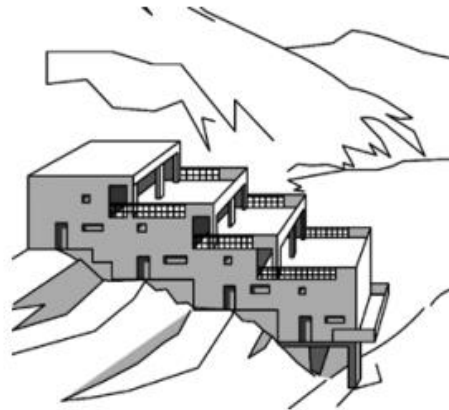
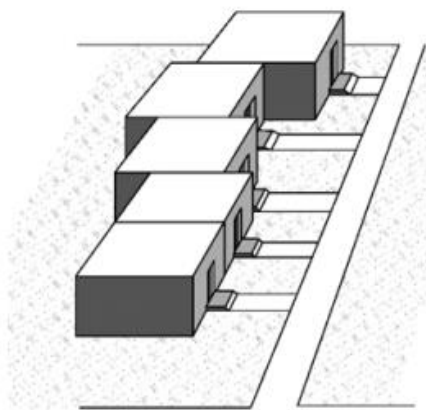


Рисунок 1 – Схема блокированного дома

Рисунок 2 – Схема террасированного дома

Жилые здания такого типа (рисунок 1, 2) благоприятно влияют на энергоэффективность во всех типах климата [3]. Задача современной архитектуры – искать индивидуальный подход к проектированию зданий в зависимости от района проектирования. Для повышения энергоэффективности можно отталкиваться не только от розы ветров и движения солнца по небосводу. Очень полезным инструментом будет являться рельеф. Земля является прекрасным изоляционным материалом, как от холода, так и от тепла (рисунок 2). Даже на относительно равнинной территории Республики Беларусь есть достаточно рельефные области, расположенные на севере страны, где рационально использовать рельеф для дополнительной защиты зданий от переохлаждений зимой и перегревов летом.

Стратегии, предлагаемые для возведения энергоэффективного здания:

1. Рациональная инсоляция. Солнечный свет – это одновременно и недостаток летом в виде чрезмерного нагрева поверхности здания, но также большой плюс зимой в виде дополнительного источника тепла. Чередую на фасаде элементы, защищающие от чрезмерного нагрева помещений летом, с максимальным прониканием света в глубь помещений зимой, мы можем добиваться наиболее эффективного использования солнца (рисунок 3а).

2. Вентиляция – это важнейшая инженерная система современного здания любого назначения. Не рационально тратить уже нагретый/охлажденный воздух, выпуская его просто так, однако мы не можем избавиться от необходимости вентилирования помещений. Современным решением этой проблемы является установка системы вентиляции с рекуперацией, что позволяет использовать теплый, выходящий воздух для частичного обогрева холодного, поступающего с улицы в зимний период времени (рисунок 3а).

3. Также неотъемлемым элементом современного здания является использование чистой энергии на всех возможных частях здания (рисунок 3б). Даже малый эффект получения тепла или электричества от солнечной энергии приведет к экономии энергоресурсов в длительной перспективе использования здания.

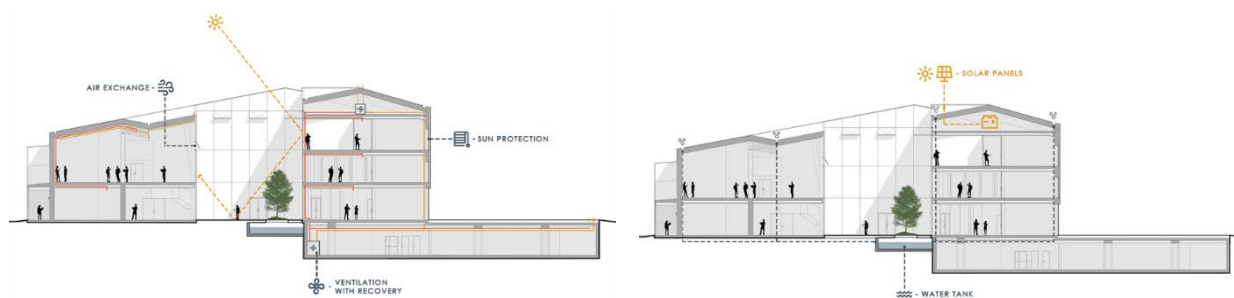


Рисунок 3 – А – схема использования вентиляции и солнце регулирующих элементов, Б – схема использования элементов чистой энергии

Одной из первых построек, являющихся лидером по энергоэффективности, по мнению многих специалистов, стало сверхвысотное здание «Pearl River Tower», построенное в 2010 году американскими специалистами из «Skidmore, Owings & Merrill» в Гуанчжоу [5]. В этом проекте, инженерно-технический фактор оказал непосредственное влияние на объемно-планировочное решение

здания. В конструкцию технических этажей интегрированы четыре ветроэнергетические турбины – они служат дополнительным источником энергии и влияют на внешний вид здания, становясь его формообразующим элементом. Необычная конструкция стен и форма здания направляет потоки ветра, используя энергию воздушных масс, способствует более эффективной работе ветрогенераторов (рисунок 4).

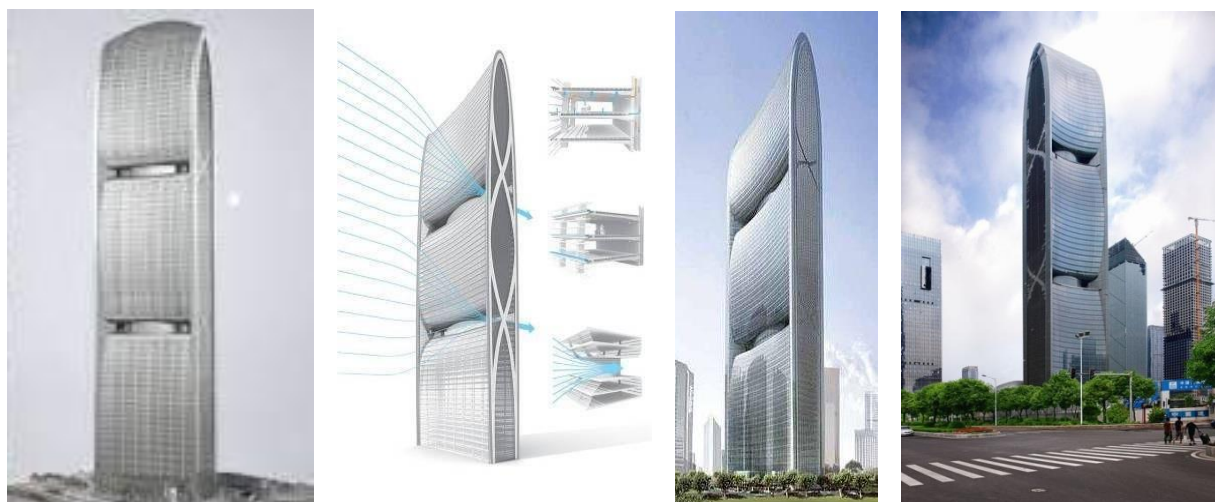


Рисунок 4 – «Pearl River Tower»

Уменьшение потребления энергии на обогрев, кондиционирование, вентиляцию и освещение благоприятно скажется не только на экологической составляющей, но и на экономической стороне вопроса. Для жителей – это уменьшение трат на коммунальные услуги, а для города – это снижение нагрузки на все виды сетей, соответственно меньший бюджет для их обслуживания.

Таким образом энергоэффективность, заложенная при проектировании или реконструкции здания, есть экономия средств на содержании здания в течении всего жизненного цикла.

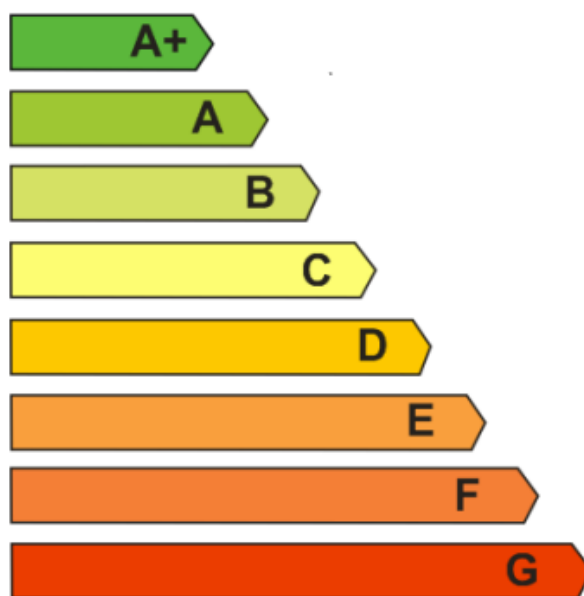


Рисунок 5 – Класс энергетической эффективности зданий и сооружений

Проектирование современных энергоэффективных зданий – это сложный процесс, учитывающий ряд факторов, для решения которого необходим комплексный подход. Среди большого разнообразия зданий можно выявить универсальные приёмы, позволяющие достигать снижения энергозатрат за счёт оптимального объёмно-планировочного решения и подбора энергоэффективной инженерии и материалов [6]:

1. Наименьший периметр при необходимой полезной площади ведёт к снижению теплопотерь.

2. Обтекаемость форм и эффектное скручивание высотных зданий с различными вариантами сдвигов этажей вокруг вертикальной оси напрямую обосновывается минимизацией аэродинамических нагрузок и делает их зрелищными объектами.

3. Внешние оболочки зданий с инновационными фасадными системами, реагирующими на климатические условия, позволяют обеспечить благоприятный климат внутри здания.

4. Атриумные пространства в высотных зданиях обеспечивают естественную вентиляцию и повышают теплоизоляционные свойства фасадных оболочек, а в холодных регионах позволяют создавать природоподобие искусственной среды в интерьерах.

5. Архофитомелиорация превращает интерьеры и экстерьеры высотных зданий в оазисы, «городские фермы» и «лёгкие» города. А в районах с тёплым климатом озеленение препятствует перегреву окружающей территории, свойственному большим городам с плотной высотной застройкой.

6. Использование переработанных материалов в конструкциях зданий, которые в будущем можно будет утилизировать.

Заключение

Инженерные и архитектурные решения должны приниматься вместе, учитывая особенности друг друга. Это позволит значительно сократить затраты на отопление и охлаждение зданий и окажет существенное положительное влияние на биосферную совместимость отдельных зданий и городов в целом.

Требования к энергоэффективному строительству, в частности учет архитектурных особенностей зданий для смешанного климата, таких как пассивный солнечный нагрев здания, солнцезащита здания, должны быть закреплены в строительных нормах.

Список цитированных источников

1. Файст, В. Основные положения по проектированию пассивных домов / В. Файст. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 144 с.

2. Тарнагурский, А. В. Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь, 2016. – 34 с.

3. Дворецкий, А. Т. Энергоэффективная архитектура зданий в смешанном климате / А. Т. Дворецкий, К. Н. Клевец, Д. А. Дворецкий. – 2015. – 5 с.

4. Сергейчук, О. В. Оптимизация формы энергосберегающего здания MOTROL 2008. – 130 с.

5. Pearl River Tower. Skidmore, Owings, & Merrill LLP: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.som.com/content.cfm/pearl_river_tower. – Дата доступа: 9.04.2024.

6. Иконописцева, О. Г. Экодизайн энергоэффективной архитектуры. Анализ основных направлений и тенденций высотного строительства / О. Г. Иконописцева. – 2018. – 11с.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ НАГРУЗКАМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНА

Введение

Легкие конструкционные бетоны, включая керамзитобетон, имеют множество преимуществ по сравнению с обычными тяжелыми бетонами. Они обладают меньшим весом, более высокой прочностью на сжатие, улучшенными теплоизоляционными и звукоизоляционными свойствами, лучшим сцеплением с арматурой, большей устойчивостью к микротрещинам. В Беларуси керамзит широко используется в качестве заполнителя для легкого бетона благодаря его высокой прочности на сжатие и наличию множества замкнутых пор.

Исследование применения легких бетонов в Беларуси заслуживает особого внимания по нескольким причинам. Во-первых, уникальные геологические условия и доступность качественного керамзита создают благоприятные условия для производства высокопрочного и экологически чистого легкого бетона. Во-вторых, применение передовых технологий на местных предприятиях позволяет получать бетон с оптимальными характеристиками, что делает его эффективным и долговечным материалом для строительства в условиях переменного климата Беларуси.

Применение легких бетонов с заполнителем из керамзита в строительстве

Лёгкий бетон, включая керамзитобетон, имеет ряд конструктивных особенностей, которые делают его привлекательным материалом для разнообразных проектов. Он часто используется для возведения несущих стен, колонн и перекрытий, что позволяет уменьшить вес здания, снижая нагрузку на фундамент и грунт, а также сократить затраты на материалы. Лёгкий бетон обладает отличными теплоизоляционными свойствами, что делает его подходящим для внешних стен и фасадов, а также для производства теплоизоляционных панелей, устанавливаемых на внешние стены зданий, улучшая их энергоэффективность. Пористая структура лёгкого бетона обеспечивает высокую звукоизоляцию, что делает его идеальным для внутренних перегородок в многоквартирных домах и офисных зданиях, создавая комфортную акустическую среду и снижая уровень шума между помещениями. Лёгкий бетон используется и для строительства шумозащитных экранов вдоль дорог и железнодорожных путей, защищая жилые районы от транспортного шума. Благодаря своей негорючей природе лёгкий бетон применяется в конструкциях, где важна высокая огнестойкость, таких как противопожарные перегородки, обеспечивающие безопасность здания и препятствующие распространению огня, и огнезащитные покрытия для стальных конструкций, продлевающие их устойчивость к высокотемпературным воздействиям. Лёгкий бетон обладает высокой устойчивостью к влаге и морозу, что позволяет использовать его в наружных стенах, где он хорошо противостоит циклам замораживания и оттаивания, увеличивая долговечность наружных стен и фасадов, а также в гидротехнических сооружениях,

обеспечивая их долговечность и устойчивость к водной эрозии. Лёгкий бетон легко поддаётся обработке, что упрощает процесс строительства: элементы из лёгкого бетона проще монтировать и транспортировать, что ускоряет строительные работы, и он легко режется и сверлится, что облегчает прокладку коммуникаций и установку различных инженерных систем. Лёгкий бетон, особенно на основе натуральных материалов, таких как керамзит, является экологически чистым материалом, что снижает углеродный след строительства и не выделяет вредных веществ, делая его безопасным для использования в жилых и общественных зданиях. Примеры конструкций с использованием лёгкого бетона включают жилые дома и коттеджи, где лёгкий бетон используется для строительства стен и перекрытий, коммерческие здания с лёгким бетоном в перегородках и фасадных панелях, инфраструктурные объекты, такие как шумозащитные экраны и мосты, и промышленные здания с противопожарными перегородками и покрытиями. Эти конструкционные особенности делают лёгкий бетон универсальным материалом для различных видов строительства, обеспечивая сочетание прочности, долговечности и энергоэффективности.

Существующие здания из легких бетонов

Музей Гуггенхайма [1], признанный одним из самых представительных произведений архитектуры конца XX-го века, является шедевром одного из ведущих современных американских архитекторов Фрэнк Гени. Чтобы снизить вес конструкций из-за особых условий грунта, плиты перекрытия были отлиты с использованием легкого бетона. Система сама по себе легкая, но использование керамзита в бетоне позволило снизить общий вес примерно на 30 %.

Чтобы спроектировать эту драгоценную жемчужину испанского города Бильбао, проектировщикам пришлось столкнуться с огромной проблемой – низким качеством почвы на берегу реки Нервион, которая в основном состоит из промышленных отходов, накопившихся за десятилетия сталелитейного производства. Вес гигантского сооружения музея должен был быть максимально уменьшенным. Одним из наиболее важных принятых мер был выбор сверхлегкой конструкции перекрытия, выполненной из гофрированного листа оцинкованной стали, соединенного с бетонной плитой толщиной 60–80 мм.

Церковь Снарейя [1], расположенная недалеко от Осло, представляет собой особый архитектурный облик церкви, построенной с использованием легкого бетона. Церковь была построена в 1968 году. Причиной применения легких бетонов была задумка архитектора, который хотел использовать бетон в качестве строительного материала для получения однородного внешнего вида на больших поверхностях в сочетании с относительно большими пролетами, теплоизоляционными свойствами и малым собственным весом, что сделало легкий бетон очень подходящим для этих целей. Архитектурной особенностью церкви является то, что она расположена на равнинной местности, но интегрирована в местном скалистом утесе. Вход был расположен на вершине скалистого утеса, а высокие стены церкви были изогнуты вниз, к равнинным окрестностям. Все стены состоят из частей кривых и прямых линий, разделенных окнами по всей высоте, что придает особое освещение внутри церкви.

Расположенный в городе Тромсе, в окружении гор Тромсдальстинден, Полярный морской собор [1], благодаря своей особой архитектуре является

одной из самых известных туристических достопримечательностей северной части Норвегии. Собор был построен в середине шестидесятых годов. Специальная крыша и основная конструкция выполнены из легкого бетона. Самой выдающейся особенностью здания является наклонная крыша, состоящая из легких бетонных секций, что позволило удовлетворить важные требования к изоляции и снизить вес конструкции. Использование легкого бетона позволило снизить нагрузку на конструкцию примерно на 50 % по сравнению с обычной ребристой конструкцией с внутренней изоляцией. Была достигнута высокая степень изоляции без тепловых мостиков. Эта альтернатива привела к значительной экономии средств.

Сопротивление срезу железобетонных балок из керамзитобетона

Сопротивления срезу железобетонных балок зависит от различных конструктивных параметров, включая геометрию сечения, тип нагрузки и характеристики материалов. Существующие модели учитывают данные параметры по-разному, что приводит к использованию различных подходов и уравнений для определения сопротивления срезу в современных строительных нормах.

Для изучения характера поведения и причин разрушения железобетонных балок при срезе было выполнено большое число экспериментальных отечественных и зарубежных исследований. Согласно полученным экспериментальным данным, прочность на срез однопролетных разрезных балок зависит от прочности бетона на сжатие, коэффициента продольного армирования, отношения пролета среза к рабочей высоте балки (a/d) и размера поперечного сечения балки. Для конструкций с различным типом армирования и выполненных из любых видов бетона, величина данных составляющих и их вклад в сопротивление срезу может изменяться. В частности, механизм сопротивления срезу начинает меняться в зависимости от a/d .

Несмотря на большое количество проведенных исследований в области сопротивления срезу железобетонных конструкций, недостаточно внимания уделялось балкам из легких бетонов. Ранние эксперименты показывают, что их сопротивление срезу обычно ниже, чем у конструкций из обычного бетона. В связи с этим в нормативной литературе предлагаются дополнительные понижающие коэффициенты и ограничения для учета различий в физико-механических характеристиках легких бетонов.

Большинство этих коэффициентов связаны с изменением плотности легкого бетона и, в меньшей степени, с его составом. Однако такие ограничения могут недооценивать реальные характеристики легкого бетона и требуют дополнительного анализа. Появление новых заполнителей и улучшение технологий производства увеличивают необходимость дальнейших исследований сопротивления срезу конструкций из легких бетонов.

Ю. Е. Корнилович [2] в своих исследованиях показал, что главным фактором прочности бетона является активность вяжущих, выражаемая в виде показателей их адгезионных и когезионных свойств. На основании опытов Ю. Е. Корнилович и Ю. Д. Нациевский делают вывод, «... что разрушение легкого бетона имеет одну стадию и происходит вследствие одновременного, а не последовательного разрушения цементного камня и заполнителей».

Авторами Keun-Hyeok Yang, Jae-II Sim, Byong-Jeong Choi, and Eun-Taik Lee [3] был сделан вывод, что максимальный размер заполнителя практически не влияет на нормированную прочность бетона на срез при наклонном растрескивании. Однако предельная прочность по наклонным сечениям увеличивалась с увеличением размера заполнителя, указывая на то, что скорость увеличения была ниже в балках из легких бетонов, чем в балках из бетона с нормальным весом.

Заключение

Анализ экспериментальных данных показывает, что тип бетона, в частности вид используемого заполнителя, оказывает значительное влияние на формирование трещин и разрушение железобетонных балок. Балки из легких бетонов часто разрушаются с образованием трещин с шероховатыми краями, проходящих через цементный камень и заполнитель. Такие балки, особенно без поперечного армирования, склонны к хрупкому разрушению вдоль сжатой бетонной полосы. Использование поперечной арматуры существенно повышает сопротивление срезу железобетонных балок, однако данное утверждение требует дополнительного исследования через проведение натурных экспериментов.

Список цитированных источников

1. Lightweight Aggregate Concrete. Part 3. Case studies. *fib* Bulletin No. 08, 2000, 61 p.
2. Корнилович, Ю. Е. О формуле прочности легких бетонов / Ю. Е. Корнилович, Ю. Д. Набиевский // Технология легких бетонов на пористых заполнителях и их применение в строительстве. – М. : Стройиздат, 1966. – С. 90–97.
3. Effect of aggregate size on shear behavior of lightweight concrete continuous slender beams / K.-H. Yang [et al.]. – Michigan : ACI Structural Journal, September 1, 2011. – P. 501–509.

УДК 624.012.35(043.3)

Ткачук И. В.

Научный руководитель: к. э. н., доцент Кочурко А. Н.

СОПОСТАВЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ВАРИАНТОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОНТАЖА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

Введение

Балки используются в строительстве как несущие элементы, обеспечивающие стабильность и прочность конструкции. Они могут быть изготовлены из различных материалов: железобетон, металл, древесина.

Современный строительный рынок характеризуется внедрением новых технологий, которые направлены на улучшение характеристик балок и снижение затрат:

1. Применение 3D-печати позволяет создавать балки нестандартных форм, что расширяет возможности архитектурного дизайна.
2. Инновационные материалы, такие как ультралёгкий бетон или композитные материалы, улучшающие прочностные характеристики и уменьшающие вес конструкций.

3. Умные технологии — внедрение сенсоров для мониторинга состояния балок и предотвращения аварийных ситуаций.

Рынок строительных балок тесно связан с общим состоянием экономики и строительного сектора:

1. Стоимость материалов и технологий влияет на выбор типа балок.

2. Финансовая доступность — экономические кризисы могут снижать спрос на дорогостоящие инновационные решения.

3. Государственное регулирование (субсидии и налоговые льготы на использование экологически чистых технологий) может стимулировать использование определённых типов балок.

Методы проектирования и монтажа

Традиционные методы проектирования и монтажа балок могут включать в себя использование обычных форм и опалубок, что может потребовать больше времени и ресурсов для их изготовления и установки. Однако такие методы могут быть более дешёвыми в сравнении с инновационными методами.

Инновационные методы проектирования и монтажа балок могут включать в себя использование специализированных технологий, таких как компьютерное моделирование или применение новых материалов. Такие методы могут быть более дорогими, но могут также обеспечить более эффективное использование ресурсов и повысить качество конечного продукта.

Необходимо также учитывать стоимость трудовых ресурсов и квалификацию специалистов, которые будут задействованы при реализации тех или иных методов.

Сопоставление стоимости вариантов

Сопоставление стоимости вариантов применения традиционных и инновационных методов проектирования может быть неоднозначным в зависимости от конкретного проекта и условий его реализации.

Традиционные методы проектирования, такие как ручное создание чертежей и моделей, могут иметь более низкую стоимость в начальной стадии проекта, так как не требуют дорогостоящего оборудования и специализированных программ. Однако они могут потреблять больше времени на создание и корректировку проекта, что может привести к дополнительным затратам на оплату труда специалистов.

Инновационные методы проектирования, такие как использование компьютерных программ и 3D-моделирования, могут иметь более высокую стоимость в начальной стадии проекта из-за необходимости приобретения и обучения специалистов работе с ними. Однако они могут значительно сократить время на создание и корректировку проекта, что в долгосрочной перспективе может привести к экономии средств на исправлении ошибок или изменении конструкции.

Заключение

Несмотря на более высокую начальную стоимость и сложности в реализации инновационных проектов, долгосрочные преимущества, такие как снижение эксплуатационных расходов и улучшение экологических характеристик, делают их весьма привлекательными. Традиционные методы, в свою очередь, остаются востребованными за счёт их проверенной временем надёжности и более простой интеграции в существующие строительные процессы.

Список цитированных источников

1. Традиционные и инновационные методы проектирования экологических парков / В. В. Волкова [и др.] // Архитектура и строительные науки. – 2019. – № 1, 2. – С. 17–21.
2. Мальцевич, И. В. Инновационные технологии в строительстве и их использование / И. В. Мальцевич, Л. Г. Основина, Н. В. Мальцевич. – Казань : КазНАУ : Айтумар, 2021. – Т. III. – С. 42–47.

УДК 666.973.3

Шелест Е. В.

Научные руководители: доцент, к. т. н. Кривицкий П. В.

ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ КОНСТРУКЦИОННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА

Целью исследований является установление экспериментальным путем взаимосвязи между соотношениями минеральных заполнителей и свойствами керамзитобетона, а также анализ исследований показателей (марок) водонепроницаемости керамзитобетона по сравнению с бетоном нормального веса при одинаковой прочности на сжатие.

В практике современного строительства наблюдается тенденция применения строительных материалов и конструкций, обеспечивающих значительное снижение массы зданий и сооружений, повышение их теплотехнических и звукоизоляционных характеристик.

В Республике Беларусь наибольшее распространение в качестве крупного легкого заполнителя получил керамзитовый гравий, обеспечивающий, главным образом, прочность, жесткость, трещиностойкость конструктивных бетонов, способствующих к снижению материалоемкости конструкций без потери их несущей способности, эксплуатационной пригодности и долговечности.

Основными показателями качества бетонов являются высокая несущая способность и долговечность изготовленных из них изделий и конструкций. На прочность бетона как его способность сопротивляться действующим на него статическим и динамическим нагрузкам, влияющих на несущую способность, значительное влияние оказывает важнейшее физическое свойство бетона – плотность. Первостепенными же свойствами, обеспечивающими долговечность бетона, являются физические свойства – проницаемость и морозостойкость, также зависящие от плотности бетона. При рассмотрении долговечности материала как его способности сохранять свою основную конструктивную функцию в течение заданного (нормируемого) срока в требуемых условиях эксплуатации с учетом наиболее вероятных деструктивных воздействий среды, необходимо изучение проницаемости бетона, так как проникновение влаги сквозь конструкции является причиной большинства коррозионных процессов и снижению эксплуатационных характеристик. При этом движение сквозь толщу бетона может обуславливаться не только давлением воды, но и градиентом влажности на противоположных поверхностях конструкции или осмотическим эффектом. В связи с этим проницаемость бетона является особенно важной характеристикой для гидротехнических сооружений, для тонкостенных конструкций,

эксплуатируемых в подводном положении или при постоянном контакте с водой, а также в контакте с коррозионной или влажной средой, что необходимо учитывать при проектировании несущих и ограждающих конструкций.

Проницаемость бетона является свойством бетона пропускать через себя газы или жидкости при наличии градиента давления (регламентируется маркой по водонепроницаемости W , характеризующая максимальную величину давления воды, при которой не наблюдается ее просачивание через образцы [1]) либо обеспечивать диффузионную проницаемость растворенных в воде веществ в отсутствие градиента давления (регламентируется нормированными величинами плотности тока и электрическим потенциалами). Зависит проницаемость от плотности, структуры, которая формируется и изменяется в течение длительного периода, начиная с момента замешивания бетонной смеси, а также от свойств вяжущего и заполнителей.

Бетон является капиллярно-пористым материалом, так как и в цементном камне и заполнителе присутствуют поры. Мелкие поры и капилляры (микропоры) размером до 10^{-5} см, к которым относятся поры цементного геля (около 28 % от объема цементного камня), практически непроницаемы для воды. Макропоры и капилляры размером более 10^{-5} см доступны для фильтрации воды, которая происходит вследствие действия давления, градиента влажности или осмотического давления. Объем макропор в бетоне колеблется от 0 до 40 % от объема цементного камня. Поэтому основную роль в проницаемости бетона играет проницаемость цементного камня, которая определяется его капиллярной пористостью. В то же время функция распределения зависит от размера, длины и распределения пор. Так, хотя пористость цементного геля 28 %, его проницаемость составляет всего $7 \cdot 10^{-10} \sim 14 \cdot 10^{-10}$ см/сек. Отметим также, что макропористость и, соответственно, проницаемость цементного камня меняется в процессе его гидратации. В процессе гидратации проницаемость резко уменьшается, так как объем геля примерно в 2,1 раза больше объема негидратированного цемента и гель заполняет часть пор, которые вначале были заполнены водой [2].

Снизить макропористость цемента, тем самым понизить проницаемость бетона, возможно путем уменьшения величины В/Ц соотношения. Однако данный вопрос изучен не в полном объеме (недостаточно) и наблюдается значительный разброс величины макропористости при одинаковом В/Ц отношении, так как имеет место влияние ряда других факторов, а именно вид (цемент грубого помола образует более пористый цементный камень, чем цемент тонкого помола), расход цемента, степени и способы уплотнения. Поэтому более эффективным в достижении снижения макропористости является уменьшение воздухоовлечения в бетонную смесь и применении химических добавок, уплотняющих структуру бетона [3, 4].

Следует отметить способность бетона уменьшать проницаемость с увеличением возраста в виду изменения характера пористости. Наблюдается процесс зарастания макропор продуктами гидратации цемента, в следствии чего и объем макропор снижается (рисунок 1).

При увлажнении бетона также наблюдается «закупорка» капилляров (пор), которые заполняются водой, значительно теряющей свою подвижность под воздействием физических поверхностных сил. Это явление, уменьшающее проницаемость бетона, носит название «кольматация» пор и капилляров.

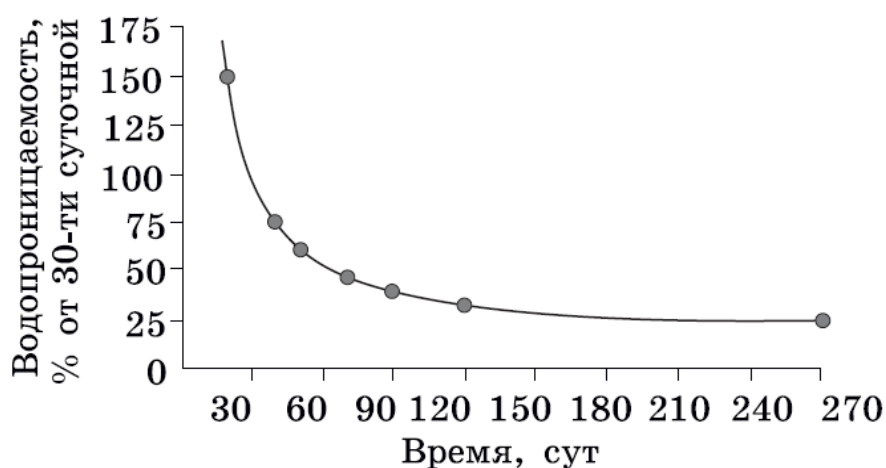


Рисунок 1 – Влияние возраста бетона на его водопроницаемость (за 100 % принята водопроницаемость в возрасте 30 суток)

Наряду с общепризнанной теорией, согласно которой проницаемость бетона в основном зависит от проницаемости цементного камня, существует предположение, что основными путями проникновения влаги в бетон является контактная зона крупного заполнителя с цементным камнем [5]. Тогда керамзитобетон в сравнении с равнопрочными бетонами нормального веса на природных заполнителях будет иметь преимущества в силу существенно более высокого (в 1,7–2,5 раза) сцепления крупного пористого заполнителя с цементным камнем. При затворении водой легкого бетонной смеси зерна сухого пористого заполнителя могут набухать (в различной степени в зависимости от вида заполнителя и его оболочки). Поскольку влажностный коэффициент линейно-температурного расширения зерна заполнителя может быть больше соответствующего значения для цементного камня, зерно пористого заполнителя может подвергаться трехосному сжатию со стороны твердеющего цементного камня. При этом сцепление таких компонентов бетона усиливается и тем самым повышается прочность его контактной зоны. Такой процесс должен способствовать повышению водонепроницаемости конструкционных легких бетонов. В бетонах, где крупный заполнитель плотный (типа гранита или доломита), возможно определенное скопление воды под зерном такого заполнителя, опускающегося (при воздействии гравитационных сил) в цементном тесте бетонного изделия. Эта вода затем в процессе твердения бетона может испаряться, образуя пустоты под зернами заполнителя. Происходит так называемая внутренняя седиментация бетонной смеси, которая существенно ослабляет сцепление зерен плотного заполнителя с цементным камнем. Также варьируя В/Ц соотношением в сторону снижения, достигается повышение плотности и, соответственно, прочности формирующейся контактной зоны. Последнему способствует и обратная миграция воды затворения из зерна заполнителя в цементную матрицу в процессе твердения бетона. Это усиливает процессы гидратации в цементном камне, в него включаются дополнительно негидратированные еще зерна цементного клинкера. Такой процесс способствует формированию мелкопористой структуры легкого бетона с минимальным объемом сообщающихся пор-капилляров. Последнее благоприятно отражается на показателях долговечности бетона (морозостойкости и водонепроницаемости) [6]. Однако

снижение водоцементного отношения, которое способствует уменьшению пористости и проницаемости, допускается до определенного оптимума. Далее будет обратный эффект – резкое возрастание из-за нехватки цементного теста.

Таким образом, в значительной степени проницаемость бетона предопределяет состав бетонной смеси, основными показателями которой являются водоцементное отношение, расход цемента, соотношение заполнителей и цемента, а также крупного и мелкого заполнителей. Важен и технологический фактор как уплотнение бетонной смеси. Если недостаточное уплотнение смеси обязательно приводит к резкому увеличению проницаемости бетона, то излишнее вибрирование может вызвать расслоение смеси, повысить внутреннее водоотделение, а, следовательно, проницаемость бетона. Для получения непроницаемого бетона бетонную смесь необходимо уплотнять при минимальной подвижности, допускаемой способом уплотнения [7].

По результатам проведенных собственных экспериментальных исследований [8] по определению показателей водонепроницаемости опытных образцов из керамзитобетона и бетона нормального веса можно сделать вывод, что технологически возможно получить легкий бетон с физическими характеристиками, не уступающими бетону нормального веса. А именно легкие конструкционные бетоны, обладая гораздо большей пористостью по сравнению с бетонами нормального веса, не обладают большей проницаемостью. Согласно полученным данным, также следует отметить, что на показатель водонепроницаемости не оказала влияние прочность крупного заполнителя, т. е. образцы изготовленные на керамзите марки М350 и на марке М600, были, при одинаковом количестве вяжущего, В/Ц соотношении и технологии изготовления аналогичны. Это подтверждается и зарубежными авторами [9], которые в своих исследованиях установили, что водонепроницаемость легкого бетона равна непроницаемости бетона нормального веса с аналогичным количеством вяжущего.

Выводы

Из проведенного анализа имеющихся исследований в вопросе оптимального проектирования состава керамзитобетонных смесей становится очевидным, что методика подбора состава конструктивных легких бетонов на керамзитовом гравии весьма усложнена в сравнении с подбором состава бетона нормального веса из-за значительного колебания значений удобоукладываемости керамзитобетона в виду своей особенности быстрой потери подвижности по причине поглощения влаги заполнителем, а также по причине трудности точного расчета В/Ц соотношения.

Результаты исследований [8] показывают возможность получения легких конструкционных бетонов на основе керамзитобетона с высокими механическими и физическими характеристиками и при том обеспечит снижение собственного веса железобетонных элементов из легких бетонов и уменьшит расход материалов, а также стоимость несущих конструкций.

Также по причине проявления эффекта обжатия пористого заполнителя концентрация структурных напряжений в цементном камне легкого бетона будет значительно меньше, чем на плотном. Следовательно, в нем будет меньше микротрещин, как следствие этого долговечность легкого бетона будет выше, чем бетона нормального веса; водопроницаемость легкого бетона будет меньше

из-за лучшей структуры цементного камня; коррозионная стойкость легкого бетона будет выше, поскольку разгрузка цементного камня будет способствовать его высокой стойкости против действия агрессивной среды.

Исходя из этого, легкий бетон следует применять не только там, где требуется снизить вес сооружения, но и во всех случаях, где наиболее полно будут использованы его положительные качества по долговечности, водонепроницаемости и коррозионной стойкости.

Список цитированных источников

1. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости: ГОСТ 12730.5-2018. – Введ. РБ 01.03.2020. – Минск : Госстандарт РБ, 2020. – 23 с.
2. Невилль, А. М. Свойства бетона / А. М. Невилль; пер. с англ. / В. Д. Парфенова, Т. Ю. Якуб. – Москва : Изд-во литературы по строительству, 1972.
3. Чикин, А. В. Технология повышения долговечности бетона с современными добавками / А. В. Чикин // Экология и строительство. – 2015. – № 3. – С. 8–13.
4. Мешкаукас, Ю. И. Керамзитобетонные конструкции. / Ю. И. Мешкаукас. – Вильнюс : Мокмлас, 1984. – 144 с.
5. Орендлихер, Л. П. Бетоны на пористых заполнителях в сборных железобетонных конструкциях / Л. П. Орендлихер. – М. : Стройиздат, 1983. – 144 с.
6. Ярмаковский, В. Н. Физико-химические и структурно-технологические основы получения высокопрочных и высокодолговечных конструкционных легких бетонов / В. Н. Ярмаковский // Строительные материалы. – 2016. – № 6. – С. 6–11.
7. Чикин, А. В. Технология повышения долговечности бетона с современными добавками / А. В. Чикин // Экология и строительство. – 2015. – № 3. – С. 8–13.
8. Кривицкий, П. П. Физико-механические характеристики конструкционного керамзитобетона в практике современного строительстве / П. В. Кривицкий [и др.] // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6, Техника. – 2024. – Том 14, № 1. – С. 35–43.
9. Liu X. Development of lightweight concrete with high resistance to water and chloride-ion penetration / X. Liu, K. S. Chia, Zhang M.-H – Cement and Concrete Composites, 2010. – Vol. 32, Issue 10. – P. 757–766.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОБЛЕМЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ананич К. И., Локтионов Н. Г.

Научные руководители: профессор, к. т. н., доцент Житенёв Б. Н.;
ст. преподаватель Рыбак Е. С.

**ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ СТОЙКИХ ПРИМЕСЕЙ ОЗОНИРОВАНИЕМ
ПРИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ОБЛУЧЕНИИ 4**

Василевич А. С., Брандлер В. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Ключева Е. В.

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛООВОГО
НАСОСА ДЛЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА 7**

Заяц Е. Д., Шляжко О. В.

Научные руководители: к. т. н., доцент Белов С. Г.; к. т. н., ст. преподаватель Наумчик Г. О.

**ПОДГОТОВКА АРТЕЗИАНСКОЙ ПИТЬЕВОЙ
ВОДЫ МЕТОДОМ ОЗОНИРОВАНИЯ..... 11**

Званько У. А., Коляда В. Э.

Научный руководитель: к. г. н., доцент Шпендик Н. Н.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТОРФЯНЫХ ПРОИЗВОДСТВ 16

Козел А. И.

Научные руководители: к. т. н., доцент Мороз В. В.; ст. преподаватель Дашкевич Д. Н.

**ОРАНЖЕВЫЙ ЭФФЕКТ: НЕВИДИМАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КАТАСТРОФА
И РЕЗУЛЬТАТИВНЫЕ МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ..... 20**

Кривецкий Н. С., Силюк Я. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.

**СХЕМА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СМЕШИВАНИЕМ
ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ ВОЗДУХА В ТЕПЛЫЙ
И ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОДЫ В ПОМЕЩЕНИИ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛА 23**

Крук А. С., Зань М. В.

Научные руководители: к. т. н., доцент Андреюк С. В.; к. т. н., доцент Волкова Г. А.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ
В ЦЕЛЯХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ 26**

Кузьмич Д. А., Ильеня Е. С.

Научный руководитель: ст. преподаватель Акулич Т. И.

**ОПЫТ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АЭРАЦИИ
НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИИ..... 31**

Мороз М. О., Терещук М. Н.

*Научный руководитель: к. т. н., заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции
Новосельцев В. Г.*

**ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА,
ПРОИЗВОДИМОГО МАЙНИНГОВЫМИ ФЕРМАМИ 34**

<i>Олехнович К. А.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Левчук Н. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНОВ ПО ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ	37
<i>Русак Е. Ю.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Тур Э. А.</i> КОМПЛЕКСНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ Г. ПИНСКА	40
<i>Рязанова К. А., Сафонова А. А.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИИ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД	46
<i>Рязанова К. А., Сафонова А. А.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИИ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД	51
<i>Силюк Я. А., Кривецкий Н. С.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П. Ф.</i> СХЕМА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫТЕСНЕНИЕМ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ ВОЗДУХА В ТЕПЛЫЙ И ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОДЫ В ПОМЕЩЕНИИ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛА	54
<i>Усс Н. В.</i> <i>Научный руководитель: д. г. н., профессор Волчек А. А.</i> ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА РЕК И ВОДОЕМОВ БЕЛАРУСИ НА БАЗЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	57
<i>Шарко В. Г., Курант В. А.</i> <i>Научные руководители: ст. преподаватель Мищирук О. М.;</i> <i>ст. преподаватель Матюх С. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ СОЗДАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ В КОМПАС-3D	61
ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Байдак И. Б.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Николаюк-Ртищева М. В.</i> ПРОБЛЕМАТИКА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫСЕВА СЕМЯН	66
<i>Билитюк Е. С., Козел Н. В.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Хведчук В. И.</i> СРЕДСТВА ПАКЕТНОЙ ОБРАБОТКИ КОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	69
<i>Дыдик А. И.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент кафедры ИИТ Разумейчик В. С.</i> МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ГЛЮКОМЕТРА	73

Козик И. Д.
Научный руководитель: к. т. н., доцент кафедры ИИТ Савицкий Ю. В.
**СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КИСТИ
В ПРОСТРАНСТВЕ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ** 76

Макаревич П. А.
Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Гладышук А. А.
ОТ МАГНИТНОГО КОМПАСА ДО СОВРЕМЕННОЙ ГЕОЛОКАЦИИ 81

Манн А. С.
Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Гладышук А. А.
**ПРОЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОВ СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ И ИМПУЛЬСА
В ГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ** 86

Хацкевич А. С.
Научный руководитель: ст. преподаватель Хацкевич М. В.
**ИНДЕКСАЦИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
НЕЙРОСЕТЕВЫМ МЕТОДОМ ХЭШИРОВАНИЯ** 91

Чиж М. А.
Научный руководитель: ст. преподаватель Николаюк-Ртицева М. В.
**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ** 94

Шейко А. А.
Научные руководители: ст. преподаватель Кулешова А. М.; ассистент Леонович Н. Н.
**ПРОПУСКНАЯ СИСТЕМА «FACEID» НА БАЗЕ
МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА** 98

ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Дарчич Б. С.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Медведев О. А.
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ СБОРОЧНЫХ РАБОТ
ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ЗАМЫКАЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ СБОРОЧНЫХ
РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ КОМПЕНСАТОРАМИ РАЗНОЙ ТОЛЩИНЫ** 104

Корнещук И. И.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Голуб В. М.
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАССАДЫ В КРУПНЫХ МАСШТАБАХ** 107

Крачко Д. С.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Савчук С. В.
**СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ
МЕХАНИЗМОВ НАВЕСНОЙ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО СРЕДСТВА** 112

Круковский Т. М.
Научный руководитель: к. т. н., доцент Монтик С. В.
**РАЗРАБОТКА ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОЧНОСТНОГО
РАСЧЕТА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ** 116

Миневич К. Д.

Научные руководители: к. ф.-м. н., доцент Веремейчик А. И.; к. т. н., доцент Нерода М. В.

**ИСПЫТАНИЯ НА ИЗГИБ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 10Г2
ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ ЛАЗЕРОМ..... 120**

Нестеренко Д. А.

Научный руководитель: м. т. н. Березуцкая С. О.

СИСТЕМЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ..... 125

Ярмак М. А.; Млынец И. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Кудрицкий Я. В.

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ 128**

Ярмак М. А.; Парафенюк Н. Д.

Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Веремейчик А. И.

ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАЗМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 45 ... 135

Ярмак М. А.; Парафенюк Н. Д.

Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Веремейчик А. И.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ..... 140

ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Бралко П. А., Бриш А. С.

Научные руководители: ст. преподаватель Клебанюк Д. Н.;

к. т. н., профессор Шведовский П. В.

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ
РЕШЕНИЯМ ФУНДАМЕНТОВ ПОД МНОГОЭТАЖНЫЕ ЗДАНИЯ
НА НЕОДНОРОДНЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ 144**

Вашкевич Р. И.

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

**ОБЛИЦОВОЧНАЯ ПАНЕЛЬ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЛЯ УТЕПЛЕНИЯ
ФАСАДОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ 149**

Волынец А. А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Густова А. Ю.

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ
ВЫСТАВОЧНЫХ ПРОСТРАНСТВ И ИХ ВЛИЯНИЕ
НА АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ..... 152**

Гейлаш А. О., Мацкевич Е. В., Базылюк Н. С.

Научный руководитель: ст. преподаватель Воробей А. В.

ПРОТОТИП СЕГМЕНТА КИНЕТИЧЕСКОГО ФАСАДА..... 156

Дробыш А. И.

Научный руководитель: к. т. н., доцент, заведующий кафедрой строительных конструкций

Шурин А. Б.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА БОЛТОВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ 161**

Дробыш А. И.

Научный руководитель: к. э. н., доцент Кочурко А. Н.

**СОПОСТАВЛЕНИЕ СТОИМОСТИ МОНТАЖА СОЕДИНЕНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ НА БОЛТАХ И НА СВАРКЕ 165**

Кивачук Н. В., Крук У. А.

Научный руководитель: к. э. н., доцент Кочурко А. Н.

**АРЕНДА И ЛИЗИНГ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ.
ОБЩИЕ УСЛОВИЯ И РАЗЛИЧИЯ..... 167**

Кривецкий Н. С., Василевич А. С.

Научный руководитель: к. т. н., доцент Юськович В. И.; ст. преподаватель Игнатюк Т. В.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОГЕЛЯ
В КАЧЕСТВЕ УТЕПЛИТЕЛЯ В ПИ-ТРУБАХ 171**

Макаревич Д. В., Макаревич Е. А.

Научные руководители: к. т. н. Тур А. В.; ст. преподаватель Воробей А. В.

**СЕЙСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ
СХЕМ С ПОМОЩЬЮ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 175**

Михаевич В. В.

Научные руководители: к. т. н., доцент Молош В. В.; к. т. н., доцент Желткович А. Е.

**ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В МОДЕЛИРОВАНИИ
ПОВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ 180**

Михаевич В. В.

Научные руководители: к. т. н., доцент Молош В. В.; к. т. н., доцент Желткович А. Е.

**РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТАХ ДОРОЖНЫХ
ПОКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ..... 184**

Никитина А. А.

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

**ВНУТРЕННИЕ СИЛЫ В ДВУХШАРНИРНЫХ КРУГОВЫХ АРКАХ
ПРИ ДЕЙСТВИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ,
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ 189**

Никитина А. А.

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

**ДЕФОРМИРОВАНИЕ ДВУХШАРНИРНЫХ КРУГОВЫХ АРОК,
НАГРУЖЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ,
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ 193**

Никитина А. А.

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

**РАСЧЕТ ДВУХШАРНИРНОЙ КРУГОВОЙ АРКИ,
НАГРУЖЕННОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ
ЗАВИСИМОСТИ НАГРУЗКОЙ, МЕТОДОМ СИЛ 197**

<i>Пенченков И. А.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Густова А. Ю.</i> КОМФОРТ И УСТОЙЧИВОСТЬ: АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ УЛИЦ ГОРОДА БРЕСТА.....	202
<i>Семенчук М. Н., Демяник Ю. В.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Акулова О. А.</i> ТЕХНОЛОГИИ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИНФОРМАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	207
<i>Скиндер А. В.</i> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Густова А. Ю.</i> ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КАК ВЕКТОР БУДУЩЕГО РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРЫ	210
<i>Ткачук И. В.</i> <i>Научный руководитель: к. т. н., доцент Кривицкий П. В.</i> ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ НАГРУЗКАМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНА.....	215
<i>Ткачук И. В.</i> <i>Научный руководитель: к. э. н., доцент Кочурко А. Н.</i> СОПОСТАВЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ВАРИАНТОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОНТАЖА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК.....	218
<i>Шелест Е. В.</i> <i>Научные руководители: к. т. н., доцент Кривицкий П. В.</i> ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ КОНСТРУКЦИОННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА....	220

Научное издание

СБОРНИК КОНКУРСНЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ

Часть I

Ответственный за выпуск: Шалобыта Н. Н.

Редактор: Винник Н. С.

Компьютерная вёрстка: Соколюк А. П.

Корректор: Северянина А. Г.

Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации

издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 1/235 от 24.03.2014 г., № 3/1569 от 16.10.2017 г.

Подписано в печать 18.10.2024 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага «Performer». Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 13,49. Уч. изд. л. 14,50. Заказ № 1009. Тираж 30 экз.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Брестский государственный технический университет».

224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

ISBN 978-985-493-634-5



9 789854 936345