

**Министерство образования Республики Беларусь**  
**Учреждение образования**  
**«Брестский государственный технический университет»**

**СБОРНИК КОНКУРСНЫХ  
НАУЧНЫХ РАБОТ  
СТУДЕНТОВ И  
МАГИСТРАНТОВ**

**Часть I**

**Брест 2010**

УДК 624:628:+338:339

**Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов.**

**Рецензент:** директор УНИиОКП «НТЦ» А.Я. Найчук, к.т.н., доцент

Сборник охватывает широкий спектр проблемных областей строительства, архитектуры, экономики, машиностроения, ЭВМ и систем, а также общественных и социально-экологических проблем.

Издаётся в 2 частях. Часть 1.

ISBN 978-985-493-159-3 (ч. I)

ISBN 978-985-493-160-9

**Редакционная коллегия:** главный редактор: к.ф.-м.н., доцент В.С. Рубанов;  
зам. главного редактора: к.т.н., профессор Шведовский П.В;  
зам. главного редактора: к.т.н., профессор Муравьёв Г.Л.

**Члены редколлегии:** к.э.н., доцент Козинец М.Т.  
к.т.н., доцент Костюк Д.А.  
к.т.н., доцент Мешик О.П.  
к.т.н., доцент Монтик С.В.  
к.т.н., доцент Филимонова Н.В.

УДК 624:628:+338:339

ISBN 978-985-493-159-3 (ч. I)

© Издательство БрГТУ, 2010

# **ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ**

УДК 539.43

Бондарь А.В.

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Семенюк С.М.

## МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПРЕДЕЛА УСТАЛОСТИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ В УСЛОВИЯХ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

В местах изменения формы и размеров деталей машин и строительных конструкций возникают значительные местные напряжения, существенно превышающие номинальные напряжения, то есть напряжения, вычисленные в предположении отсутствия возмущения напряжённого состояния. Явление возникновения местных напряжений называется концентрацией напряжений, а причина, вызывающая концентрацию – отверстие или выточка – концентратором напряжений.

Существенное влияние оказывает концентрация напряжений на сопротивление усталости при циклическом нагружении. Для оценки влияния концентрации напряжений при циклическом нагружении были получены кривые усталости образцов из сплава Д16АТ (рисунок 1), а также кривые усталости того же сплава в условиях концентрации напряжений (рисунок 2). Кривая усталости образцов из сплава АМгб, а также кривая усталости того же сплава в условиях концентрации напряжений при отнулевом нагружении представлены на рисунке 3. Концентратором напряжений служило круглое отверстие по оси образца. Теоретический коэффициент концентрации составлял  $\alpha_\sigma = 2,73$  для сплава Д16АТ и  $\alpha_\sigma = 2,3$  – для сплава АМгб.

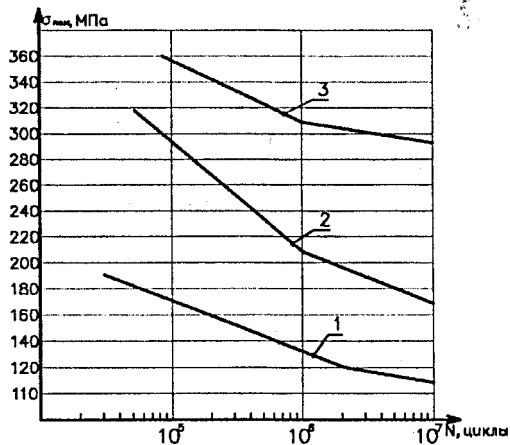


Рисунок 1 – Кривые усталости сплава Д16АТ: 1 –  $R = -1$ ; 2 –  $R = 0$ ; 3 –  $R = 0.5$

Влияние концентрации напряжений при циклическом нагружении оценивается эффективным коэффициентом концентрации напряжений при постоянной асимметрии цикла:

$$K_\sigma = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{max,k}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{max}$  и  $\sigma_{max,k}$  – максимальное напряжение цикла для гладких и образцов с концентратором напряжений при одинаковых значениях асимметрии цикла  $R$  и долговечности  $N$ .

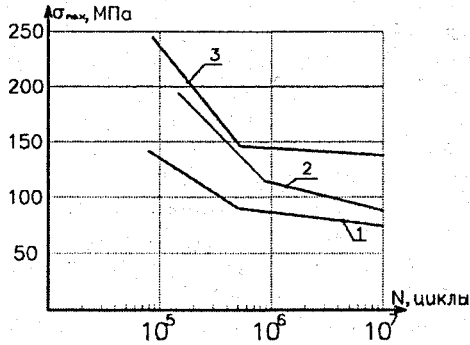


Рисунок 2 – Кривые усталости сплава Д16АТ в условиях концентрации Напряжений при  $\alpha_s = 2.73$ : 1 –  $R = -1$ ; 2 –  $R = 0$ ; 3 –  $R = 0.5$

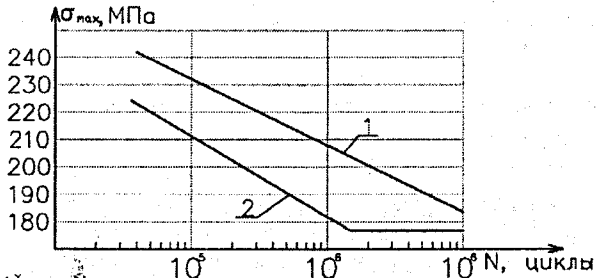


Рисунок 3 – Кривые усталости сплава АМг6 при  $R = 0$ :  
1 – для гладких образцов; 2 – образцов с концентратором напряжений  $\alpha_s = 2.3$

Зависимость эффективного коэффициента концентрации напряжений от долговечности для сплава Д16АТ представлена на рисунке 4.

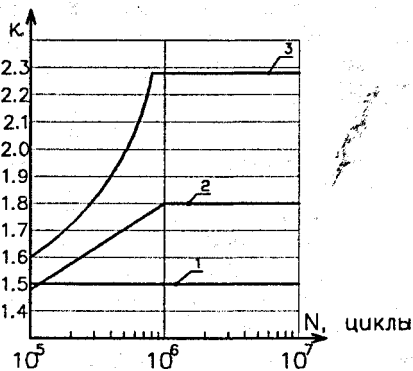


Рисунок 4 – Зависимость эффективного коэффициента концентрации напряжений  $K_s$  от долговечности до разрушения для сплава Д16АТ: 1 –  $R = -1$ ; 2 –  $R = 0$ ; 3 –  $R = 0.5$

Эффективный коэффициент  $K_c$  с увеличением долговечности возрастает, причём в области долговечности  $10^6+10^7$  циклов его значения стабилизируются, не достигая, однако, значения теоретического коэффициента концентрации напряжений. Аналогичный вид зависимости эффективных коэффициентов концентрации напряжений от долговечности представлен в [1]. Исключение составляет лишь нагружение симметричными циклами, когда с ростом долговечности эффективный коэффициент практически не изменяется. Значения эффективных коэффициентов для долговечностей около  $10^5$  циклов для различных асимметрий цикла нагружения практически совпадают со значениями эффективных коэффициентов при нагружении симметричными циклами. Для сплава Д16АТ установлено, что эффективный коэффициент с ростом асимметрии цикла возрастает, приближаясь к теоретическому значению коэффициента концентрации напряжений.

Полученные в результате исследований закономерности позволили предложить зависимость, которая связывает предел выносливости гладких образцов и составляющие цикла предела выносливости образцов с концентратором напряжений для одной и той же асимметрии цикла нагружения и может использоваться для вычисления предела выносливости при любой асимметрии цикла нагружения в том числе в условиях концентрации напряжений.

$$\sigma_{\max} = a\sigma_{ak} + \alpha\sigma_m, \quad (2)$$

где  $a$  – значение эффективного коэффициента концентрации напряжений  $K_c$  при симметричном цикле нагружения для любых долговечностей, либо при несимметричном цикле – для долговечности  $10^5$  циклов;  $\sigma_{ak}$  – амплитуда и  $\sigma_m$  – среднее напряжение цикла, на уровне предела выносливости в условиях концентрации напряжений.

В табл.1 представлены результаты вычисления по формуле (2) пределов выносливости сплавов Д16АТ и АМг6 для различных значений асимметрии цикла нагружения по составляющим цикла предела выносливости в условиях концентрации напряжений в сравнении с их экспериментальными значениями.

Таблица 1 – Экспериментальные и вычисленные значения предела усталости алюминиевых сплавов для различных асимметрий цикла нагружения

Марка сплава	Асимметрия цикла					
	$R=-1$		$R=0$		$R=0.5$	
	По формуле (2)	Экспериментальное значение	По формуле (2)	Экспериментальное значение	По формуле (2)	Экспериментальное значение
Д16АТ	105	110	190	170	327	300
АМг6	-	-	203	180	-	-

Погрешность вычисления по формуле (2) по сравнению с экспериментальными данными не превышает 12%.

Хорошая сходимость результатов вычислений и экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что концентрация напряжений (на уровне пределов выносливости) наибольшее влияние оказывает на средние напряжения цикла нагружения и учитывается теоретическим коэффициентом концентрации  $\alpha$ . Влияние же концентрации напряжений на амплитудную составляющую предела выносливости значительно меньше и учитывается коэффициентом  $a = 1,5$  для сплава Д16АТ и для сплава АМг6.

Зависимость (2) может быть использована при ускоренных испытаниях указанных материалов в условиях концентрации напряжений.

## Выводы

1. Исследованы закономерности влияния концентрации напряжений на долговечность алюминиевых сплавов при циклическом нагружении. Получены зависимости эффективного коэффициента концентрации напряжений для различных значений асимметрии цикла нагружения.

2. На основе полученных в результате исследования закономерностей предложена зависимость, которая может использоваться для вычисления предела выносливости при любой асимметрии цикла нагружения, в том числе при ускоренных испытаниях.

3. Наибольшее влияние концентрация напряжений оказывает на средние напряжения цикла нагружения на уровне пределов выносливости, влияние же концентрации напряжений на амплитудную составляющую цикла значительно меньше.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петинов, С.В. Основы инженерных расчетов усталости судовых конструкций. – Л.: Судостроение, 1990. – 224 с.

2. Трощенко, В.Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов / В.Т. Трощенко, Л.А. Сосновский. – Киев: Наукова думка, 1987. – 510 с.

УДК 712:796.5(476.7)

Буйко Е. М.

Научный руководитель: доцент Власюк Н. Н.

## ДЕКОРАТИВНАЯ ДОМОВАЯ РЕЗЬБА ЗАПАДНОГО ПОЛЕСЬЯ

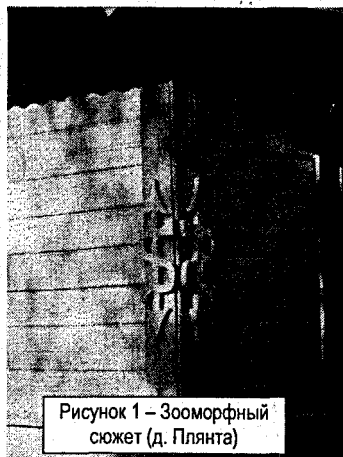


Рисунок 1 – Зооморфный сюжет (д. Плянта)

Декоративное украшение традиционного деревянного зодчества – одна из малоизученных страниц в истории белорусской культуры и архитектуры. Декор деревянных домов Беларуси является региональным вариантом распространенной с глубокой древности традиции декоративного украшения архитектурных деревянных и каменных строений.

Исходя из специфики сохранения деревянных строений в природных условиях, самые старые точно датированные существующие дома с деревянным резным декором в основном относятся к середине XIX в., наиболее старые сохранившиеся дома с резным декором в г. Ветка (Гомельская область) – к 1850-м годам [1].

В Беларуси деревянный декор наиболее распространен на юге и востоке. По мере движения с востока на запад насыщенность его уменьшается, но увеличивается использование таких декоративных средств, как шалевка, пластическое оформление конструкций, использование разноцветной окраски, побелка. В белорусском деревянном декоративном украшении выделяется несколько региональных традиций: полесская (наличие больших солярных символов на фронте), осиповичско-бобруйская (орнаментация на основе

геометрических композиций барочного и классического характера), юго-восточная (характеризуется широким распространением пропильных узоров) и некоторые другие [2].

По характеру изобразительных мотивов в резьбе по дереву у восточных славян выделяются следующие орнаментальные типы: зооморфный (включающий флористические, орнитологические, ихтиоморфные сюжеты *рис. 1*), тератологический (сказочные и мифические сюжеты), антропоморфные, геометрические и бытовые. В белорусской народной резьбе наиболее широко распространены зооморфный и геометрический. Тератологические, антропоморфные и бытовые мотивы встречаются реже.

В народном архитектурном декоре восточных славян распространен ряд элементов символики индоевропейского комплекса. Это – символическое изображение древа жизни, встречающееся в наиболее архаичных формах орнамента Беларуси в виде симметричной горизонтальной елочки на очелье надоконной доски; цепочка трехгранно-выемчатой резьбы, распространенной в южных районах республики; вертикальной елочки, расположенной над окном на фронте (преимущественно северо-восток Понеманья, север Минщины, Поозерье). Таковым является и символ жизни, трехлепестковый цветок (крин), встречающийся в растительных орнаментах Беларуси – орнитологических, зооморфных (обращенные к трехлепестковому соцветию фигуры животных). Изображение символа благополучия и семейного счастья – трехлепестковый цветок с обращенными к нему фигурами птиц в различных интерпретациях встречается во всех регионах республики. Символ плодородия – ромб на широком поле надоконной доски или цепочки ромбиков, зубцов, кружочков на ее очелии – широко известен в народной архитектуре Беларуси. Цепочка зубцов, ромбиков, разделенная солярными знаками, символизировала периодизацию рядовых циклов в земледелии. В белорусском народном архитектурном декоре этот символ располагается, как правило, над полем надоконной доски и солярными знаками не прерывается. Растительные и в особенности геометрические резные орнаменты средней полосы Беларуси в композиции содержат неповторяющиеся геометрические знаки в виде молний, косых насечек и др. Вполне вероятно, что это знаки собственности (тамаги), широко известные в памятниках археологических культур народов Восточной Европы. Распространенный в орнаментации предметов быта (ковши, прялки), ткачестве и вышивке, кузнечном искусстве круг с многолепестковой или лучевой геометрической розеткой – древний языческий символ солнца. В расположении солярных знаков зачастую зашифрованы космологические модели, вселенная, или отражено движение светила по небосводу (утро, полдень, вечер). В солярной символике понятие окружности может быть условным. В народном представлении с кругом отождествлялась любая замкнутая система. В белорусской народной символике круг был известен и как символ оберега. Так, под Лельчицами на фронтон хаты вешали колесо, которое как бы защищало кур от налета ястреба. Громовой знак – крест в круге – устанавливался на фронте под выпуском прогона, вырезался на закрывине со стороны «красного» угла, изображался на дверях хлебов с целью защиты от проникновения ведьм, удара грома. Значение оберега имели фигуры животных: одинарные и парные головы коней на выносе прогона и пересечении закрывин (конек), изображение рогов и змей (конек, свесы закрывин). Изображение лошади и рогов истоками восходит к древнему обычаю вешать на гребень череп вола или коня для отпугивания злых духов. Изображение змей также было весьма почитаемо. В резном декоре окон парные фигуры животных и птиц изображались обращенными к дереву жизни, к трехлепестковому цветку,



к стилизованной фигуре женщины, к солярному полукругу. В особый вид выделяется так называемый ихтиоморфный орнамент. Сочетание фигур рыб с солярной символикой олицетворяет животворящую силу солнца.

В Беларуси встречаются все технические разновидности резьбы: долблено-выемчатая, пропильная, силуэтная, накладная (комбинированная). Исключение составляет так называемая барельефная резьба, распространенная в Поволожье в связи с развитием корабельной рези. В Беларуси ее с успехом заменяют комбинированные композиции, где накладные узоры создают многослойную барельефную фактуру с богатыми светотеневыми отношениями.

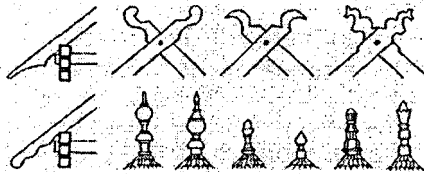


Рисунок 1 – Декоративное оформление конструкций крыш

Тот или иной орнаментальный образ нередко подсказывала и сама конструкция. Передняя часть охлупного бревна на Руси представляла собой комель с остатком корня, из которого было удобно вырезать голову коня с частью туловища. В Беларуси резьба на охлупных бревнах не получила развития, потому что они редко применялись даже в конструкциях тесовых крыш. Гребень крыши украшался резным вильчиком (парный конек), пересекающимися концами досок, прикрывающих торцы соломенных скатов, закрылин (рис.2). Орнаментировались кокошины тесовых крыш в виде птичьих профилей (курицы). В Беларуси обрамляли нижние концы стропил, нижние концы закрылин, придавая им формы змей, птичьих клювов. Также орнаментировались консольные выпуски, поддерживающие застрешек, причелок, свесы крыши в хатах с подсенью. Скромной пластической обработке подвергались вертикальные конструкции: стойки, опоры крылец, приклетников и галерей в клетях и других постройках.

Особенностью белорусской народной архитектурной резьбы является ее предельная функциональность, т. е. каждая декоративная деталь неразрывно связана с тем или иным конструктивным элементом. Характер декоративной обработки конструкций и их элементов был направлен на выявление характера их работы (консоли, стойки, арочные и полуарочные раскосы галерей, дверных притолок, оконных коробок и т. д.) или логичности, целесообразности той или иной формы (надоконная доска, ставня, дверное полотно, оконный переплет и т. д.).

Анализ региональных особенностей декора целесообразно начать с крыши, украшать которую начали еще в глубокой древности. В Восточном Полесье единственным декоративным элементом четырехскатных соломенных крыш были прижимные рожки (козлики). Они густой цепочкой покрывали гребни крыш Западного Полесья. Вильчик в виде пары стилизованных коней был широко распространен вдоль границы Центральной Беларуси и Полесья. С языческими верованиями связаны и изображения птиц и змей, встречающиеся в парных вильчиках. Особенно широко этот прием распространен на Полесье (преимущественно Западном). В юго-западных районах Поозерья, на Понеманье и в Западном Полесье популярны так называемые одинарные вильчики наклад-

ного типа (узор набивался на место пересечения закрылин). Чаще всего это стилизованные цветок, петушок, сердце, стрела и т. д. Они носили чисто декоративный характер. Одинарные вильчики для народного архитектурного декора Беларуси – позднее явление, по-видимому возникшее под влиянием народного искусства Польши, чем и объясняется их распространение преимущественно в западной части республики.

В западных районах Беларуси широко применяется резная обработка нижней кромки закрылин с круглым или овальным завершением нижней части. Позднее эта традиция распространилась и в другие регионы.

Декоративное оформление щита первоначально ограничивалось ритмичным рисунком вертикально набитых досок, иногда с тонкими планками-нащельниками, создающими светотеневую ритм. На Полесье, где преобладали крыши с причелком, убранство щитов было минимальным, поскольку щит здесь чаще всего выполняли из соломы или плели из прутьев. Поиск новых декоративных форм шел через своеобразный модуль – доску. Ее размер и расположение давали возможность украшать щит различными геометрическими узорами. Простейшие из них строятся на основе сочетания треугольников, квадратов, ромбов, «елочки» из узких коротких дощечек, конструктивно напоминают шалевку.

Значительного развития народная архитектурная резьба достигла в убранстве окон. Единственным украшением волоковых окон были овальные подтесы, позже встречающиеся в окнах сеней, комор, клетей. Орнаментация окна развивается с появлением оконной коробки. Своеобразным рудиментом волокового окна является ставня, первоначально одна, задвижная, на весь оконный проем. Впоследствии задвижные ставни сменяются ставнями на петлях. Надоконная доска по конструктивным соображениям делалась несколько выше боковых и подоконной, увеличивались общие пропорции при маленьком проеме на четыре-шесть форток. На верхнюю кромку надоконника набивалась тоненькая планка с шалевкой – карниз, в центр доски прибывался ромбик. Затем внизу карниза появляется скромная цепочка глухой (долбленой) резьбы, концам боковых наличников придается форма обращенных книзу рогов, клювов и т. д. Основная декоративная нагрузка падает на надоконную доску, имеющую большую площадь. Усложняется ее форма. К долбленным (клинчатым) узорам добавляются кружки и отверстия, просверленные коловоротом. С появлением лобзика начинает применяться пропильная резьба. Ее накладные узоры заполняют свободную площадь надоконника. Подоконные наличники отличаются монументальным характером. В их оформлении проявляется влияние таких стилей, как барокко и классицизм. Традиционным направлением в развитии декора окна является активное разрушение линейной монументальности прорезными узорами традиционных мотивов. Центром композиции становится стилизованный цветок, симметрично которому располагаются фигурки птиц, белок, куниц, змей, растительный орнамент (Полесье, Центральная Беларусь, Понеманье). Наиболее часто в декоре окон встречается изображение птиц и животных. Сквозная резьба сочетается с глухой многоступенчатой (рельефной), дополняется накладными узорами так, что наличник превращается в сплошное тонкое ажурное кружево, в котором теряется характер материала. Декоративное оформление низа боковых и подоконного наличников подчинено единой симметричной линии. Иногда в старых наличниках низ боковин завершается клинообразными зубчиками, напоминающими аналогичные элементы из архитектурного ордера – капpli.

На Беларуси отчетливо прослеживаются три обширных ареала развития архитектурного декора: юго-восточный, северо-восточный и западный. Первый включает Восточное Полесье, юг и юго-восток Центральной Беларуси и отличается декоративной пышностью и насыщенностью, близкой по характеру русской архитектурной резьбе. Второй ареал включает Поозерье, северо-восток Центральной Беларуси. Здесь преобладает разнообразная орнаментация на основе лаконичных геометрических композиций барочного и классического характера или элементов народной символики. Третий ареал охватывает Западное Полесье и Понеманье и характеризуется лаконичным, скромным характером орнаментации. Зачастую все элементы наличников делают одинаковыми, украшая ритмичным узором канавок-желобков.

Наиболее ранним проявлением шалевки сруба следует считать зашивку углов, характерную для срубов в «чистый» угол. Набитые доски начали украшать накладными деталями под влиянием городской архитектуры, сформировалось и композиционное членение с выделением верхней части (прообраз капители), средней и нижней (прообраз базы в колоннах или пилястрах).

Впоследствии начинает развиваться горизонтальное членение сруба на надоконную часть, средний, оконный, пояс, подоконную часть (рис.3). Семантика этих членений, по-видимому, та же, что и у шалевки углов, т.е. результат вторичного восприятия пропорционального строя классицизма каменных построек местечек и городов. Эта особенность в народном зодчестве имеет не столько декоративно-стилевой, сколько конструктивный смысл. Верхний, надоконный, пояс шалюется узкими вертикальными досками, заостренными внизу, оконный – горизонтально (вагонкой). Подоконный пояс шалюется тоже вертикально и обрамляется сверху и снизу двумя сливными досками. Таким образом, очевидно, что весь характер шалевки объясняется организацией стока воды, особенно в нижней части [3].

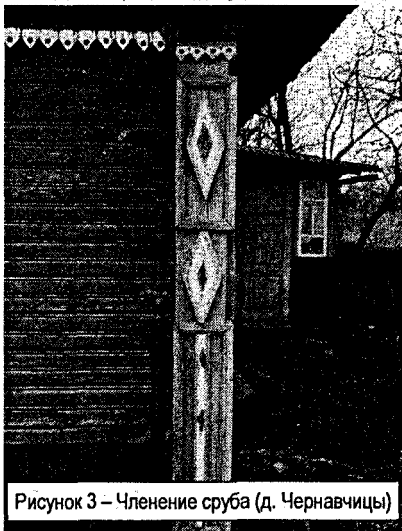


Рисунок 3 – Членение сруба (д. Чернавцицы)

Резные украшения жилищ белорусов тесно связаны с аналогичными у других славянских народностей. Общие черты в пластической обработке конструкций объясняются не только единством материала (дерево), но и единым процессом развития строительной техники, единством понимания конструктивных художественно-эстетических возможностей дерева [4].

Использование деревянных конструкций в современной белорусской архитектуре может свидетельствовать о стремлении ориентировать архитектурный процесс не только на применение новейших технических достижений, но и на более внимательное отношение к потенциалу местных традиций. Уместны деревянные материалы в рекреационной архитектуре, что помогает формировать органическую связь с природным окружением. Примеры последних лет – Учебно-спортивный центр Федерации горнолыжного спорта и сноуборда Беларуси «Альпийский снег» в Курасовщине в Минске, сооружения

Центра лыжного спорта в д. Силичи Логойского района, рекреационные объекты Национального парка "Белавежская пушча".

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Локотко, А.И. Белорусское народное зодчество.
2. Локотко, А. И. Декоративная домовая резьба в архитектуре усадебного дома // Архитектура и строительство. – № 5. – 2004.
3. Сергачев, С.А. Белорусское народное зодчество.
4. Сергачев, С. А. Дерево в памятниках архитектуры Беларуси // Архитектура и строительство. – 2005.

УДК 711.73:711.433

*Григорович А.В.*

*Научный руководитель: доцент Власюк Н.Н.*

#### ПРОБЛЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ СИЛУЭТА ЗАСТРОЙКИ ГЛАВНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ БОЛЬШИХ ГОРОДОВ

Целью настоящей работы является усиление внимания к проблеме восприятия силуэта застройки главных магистралей больших городов. В качестве примера приводится город Брест.

Проблема создания архитектурно-предметного окружения, удовлетворяющего материальные и духовные потребности человека, – одна из основных проблем современного градостроительства.

Актуальны и приобретают особую остроту вопросы реконструкции уже существующих городов и городских районов, развития и преобразования исторически сложившейся городской среды. Возрастает значение понятия "городская среда".

Архитектурная среда города постоянно растёт и изменяется, у неё есть прошлое, настоящее и будущее. На каждом этапе развития города его фрагменты отражают и воплощают определенную художественную идею. Архитектору необходимо умело «вживлять» новое в ткань старого, используя те средства и приемы, которые уместны при данных обстоятельствах.

Восприятие архитектурно-пространственной среды города – многоплановая проблема, включающая социально-исторические, эстетические, психологические, стилевые аспекты ее рассмотрения. Но все они основаны на объективных, зрительно воспринимаемых качествах архитектуры как материальной реальности.

В современном мире состояние данной проблемы таково, что её значение постоянно возрастает. Это связано со многими факторами. Современные большие города растут, развиваются, усложняется их структура, плотность населения увеличивается, происходит быстрое социально-экономическое развитие общества, застройка уплотняется, прослеживается тенденция к повышению этажности, стремление к многофункциональности, дополняются и изменяются архитектурные формы, меняются нормы и способ проектирования, непрестанно развивается научно-технический прогресс, появляются новые строительные материалы и технологии, происходит глобализация. Следствие всего этого – новые требования к среде обитания, новые задачи перед улицами как таковыми.

Всё возрастающая задача архитектора в данных условиях – внедрять новшества в среду проектирования.

Архитектурная среда – фон для жизнедеятельности человека и воздействует на него независимо от его желания. Воздействие художественной стороны архитектуры способствует повышению культурного уровня людей, формированию всесторонне развитой личности. Однако чтобы оказывать положительное воздействие на человека, архитектурная среда должна быть разнообразной, гармоничной и целостной. Не всегда эти условия выполняются. Поэтому существуют определённые проблемы восприятия:

1. Отсутствие разнообразия (использование преимущественно равноритмических сочетаний).

2. Преобладание транспортного масштаба над человеческим, потеря последнего. Потеря масштабности.

3. Отсутствие целостности. Фрагмент города целостный, если он отвечает требованиям ограниченности, связанности и компактности.

4. Отсутствие ансамблевости.

5. Нарушение перспектив.

6. Игнорирование или недостаточный учёт таких факторов восприятия, как время и движение.

7. Отсутствие гармоничности.

Чтобы успешно решать вышеперечисленные проблемы, необходимо учитывать особенности восприятия архитектуры:

- Специфика восприятия архитектуры – в соотношении эмоционального (психофизиологическая реакция наших органов чувств на физические воздействия) и рационального (постижение утилитарно-практических качеств).

- Фактор преднамеренности и непреднамеренности восприятия. Непреднамеренное восприятие – то восприятие, которое сопровождает человека в течение всей жизни, его обитания в архитектурно-пространственной среде. Преднамеренное восприятие в архитектуре – осмотр исторических памятников.

- Восприятие архитектуры в движении. Впечатление от объекта создаётся от интегрирования в сознании сменяющих друг друга картин или видовых кадров.

- В общем процессе восприятия архитектуры участвуют зрительные (отражение всего многообразия формы, света, цвета), осязательные (представление о гладких, шероховатых и т.п. поверхностях), слуховые (звуки шагов, гудки автомобилей, шум толпы), обонятельные (различные запахи), кинестетические (движение тела, ритм шагов, воздействия при ходьбе) ощущения.

- В архитектуре мы воспринимаем сам художественный организованный предметный мир, а не отражение этого мира, как в живописи или скульптуре.

- Восприятие архитектуры обусловлено как самим объектом восприятия – архитектурой, так и субъектом восприятия – человеком. Биологическая система человека, его антропологические возможности – постоянные факторы субъекта восприятия.

Что же касается магистрали, то восприятие её при движении вдоль единой оси основано на последовательном сложении фронтальных, объёмных и глубинных картин. Наблюдатель воспринимает перспективу магистрали не целостной, пространство зрительно делится на несколько частей, отсеков, расположенных параллельно.

Можно сделать вывод, что магистрали образованы последовательным рядом локальных пространств, обладающих условной замкнутостью.

Основная закономерность построения магистрали – ритмическая организация – ее длина составлена участками, обладающими свойствами фронтальной и глубинной композиции, между которыми могут располагаться нейтральные, незакомпонованные отрезки.

Перекрестки, площади позволяют создавать очень длинные магистрали (до 3 км), сохраняя при этом средовое единство и своеобразный масштаб уличной застройки.

Для создания образа города или его отдельного фрагмента человеку необходимо время: чем больше его отводится на ознакомление с городом, тем полноценнее формируется образ.

Чтобы оценить потенциал силуэта застройки главной магистрали города и найти решение многих композиционных проблем, можно провести анализ существующей ситуации застройки. Это позволит ознакомиться с объектом и его особенностями гораздо быстрее.

Для оценки главной магистрали города Бреста используется собственная методика. Вот её основные принципы:

- Необходимо ознакомиться с имеющимися материалами по объекту исследования: протяжённостью магистрали, историческими особенностями развития, объектами, которые находятся на ней, и их функциями.

- В анализе силуэта застройки магистрали градостроительная композиция рассматривается в двух аспектах – как композиция плана и как пространственная, визуально-воспринимаемая композиция городской застройки и открытых пространств. Поэтому вычерчивают генплан и силуэт магистрали с обеих сторон улицы, сохраняя масштабные и пространственные соотношения. Затем магистраль делится на характерные участки, образованные пересечениями с другими улицами, которые и будут составлять основу для схем анализа.

- По разработанным критериям анализа и оценки восприятия композиции силуэта оценивают существующую ситуацию. Вот основные группы критериев:

- Этапы архитектурного развития среды города: новый (формирующийся) объект, обживаемый объект, стабильные интерьеры, реконструируемые пространства.

- Типы организованных пространств: ориентирующие, поведенческие; промежуточные, предваряющие пространства.

- Типы композиции: фронтальная, объемная, глубинная.

- Средства композиции: ритм, метр, симметрия, асимметрия, нюанс, контраст.

- Методы построения и выявления пространства: композиционные оси, доминанты, центры, акценты, узлы.

- Функциональные зоны территории застройки: зона индивидуальной застройки, зона многоэтажной жилой застройки, административная зона, образовательная зона, духовная зона, промышленная зона, лесопарковая зона, торговая зона, зона строительства.

- Составляется кривая впечатлений – перечень характеристик оценки улиц в качестве социального опроса для обывателей и профессионалов.

- На основе наработанного материала разрабатывается ряд схем: кривая впечатлений, силуэт застройки магистрали, генплан застройки магистрали, анализ застройки магистрали. Такая подача помогает хорошо ориентироваться в средовых возможностях магистрали, трезво оценивать её проблемы и осуществлять целенаправленное их решение.

Сегодня Брест считается одним из древнейших и красивейших городов Беларуси. Город известен всему миру благодаря великому подвигу защитников Брестской крепости. Это крупный областной центр с развитым производством и торговлей, стратегически важный транспортный узел, туристический центр. В последнее время город активно развивается: строятся спортивные объекты мирового, республиканского и областного уровня, проводится активное благоустройство территорий, реконструкция центра города. Учитывая эти особенности, к застройке основной магистрали города (улица Московская – проспект Машерова) предъявляются повышенные требования, в т.ч. эстетические.

Проспект Машерова соединяет Московский и Ленинский районы. Его протяжённость более 3500 м – от Кобринского моста до Брестской крепости. В современных границах сформировался к 1965 году. Протяжённость рассматриваемой части проспекта от Брестской крепости до Кобринского моста около 2000 м. Современная застройка проспекта разноэтажная, в различных архитектурных стилях.

Улица Московская – это основная магистраль Московского района, переходящая в трассу «Брест-Москва» (М1, Е30). Протяжённость 8 км – от Кобринского моста до границы города в минском направлении.

Проведя анализ восприятия силуэта главной магистрали города Бреста, были получены такие результаты:

- Хотя развитие данной магистрали по улице Московской началось в начале XX века, а затем усиленно продолжилось в 60 – х годах, большая часть объектов находится в стадии обживания. Ведётся достаточно удачное и композиционно разнообразное новое строительство. Стабильные интерьеры больше характерны проспекту Машерова.

- Магистраль насыщена разнообразными функциями, которые требуют своих композиционных решений. Зоны влияния объектов просматриваются и в основном не перекрывают друг друга. Исключение составляют Свято-Воскресенский собор и два двадцатизатжных жилых дома на пересечении с проспектом Республики и Партизанским проспектом. У территории имеется большой потенциал для развития старых функций, их интегрирования, а также включения новых.

- Пространственная организация включает все типы, но смена их происходит или слишком быстро, или одно пространство может тянуться бесконечно долго. Необходимо организовать более динамическую пространственную структуру.

- В проектировании магистрали применены в основном ритмические ряды.

- В ходе анализа выявилась интересная особенность – в застройке магистрали с левой стороны преобладает фронтальный тип композиции. Глубинная композиция активно используется лишь в новом строительстве (рис. 1), хотя она применена в старой части города на участке ЦУМа и Свято-Симеоновской церкви (рис. 2). Для зданий улицы Московской (участок от Кобринского моста и до въезда в город) характерны черты объёмной композиции, т. к. расстояния между объектами достаточно большие. Хорошо это видно на территории ЦМТ.

Что касается кривой впечатлений, то она показала, как с точки зрения профессионала, так и с точки зрения обывателя, бедность композиционных приёмов, малую эстетическую ценность застройки, недостаточную благоустроенность территорий, отсутствие визуального и эмоционального комфорта наблюдателя. Но ситуация может измениться, если к проектированию магистрали подойти со всей серьёзностью и ответственностью.

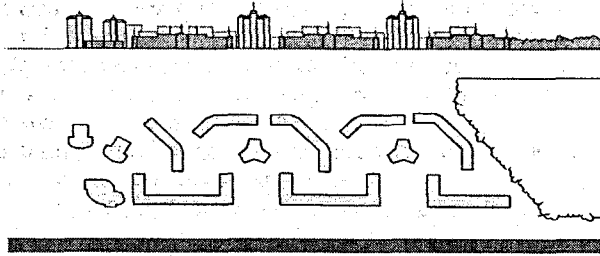


Рисунок 1 – Силуэт и генплан застройки новой части Бреста (микрорайон «Восток-6»)

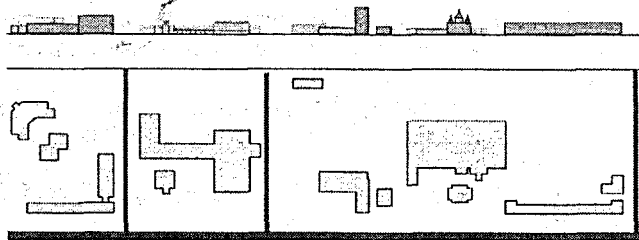


Рисунок 2 – Силуэт и генплан застройки старой части Бреста (комплекс ЦУМа и Свято-Симеоновская церковь)

У силуэта города Бреста огромный потенциал для развития. Основные функциональные зоны четко выстроены. Пространства только начинают формироваться. Магистрали можно придать более интересный вид при восприятии, если правильно чередовать глубинные и фронтальные участки композиции.

Анализ условий зрительного восприятия городской среды и её объективных зрительно воспринимаемых качеств показал необходимость их учета в процессе творческой деятельности архитектора-градостроителя.

Решение проблемы восприятия необходимо. В этом поможет графический анализ, моделирование существующей застройки и необходимых образов улиц, используя комплексный подход.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шимко, В. Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование городской среды: учеб. / В.Т. Шимко. – Москва: Архитектура-С, 2006. – 384 с.: илл.
2. Беляева, Е.Л. Архитектурно-пространственная среда города как объект зрительного восприятия / Е.Л. Беляева. – Москва: Стройиздат, 1977. – 127 с.
3. Хасиев, С.А. Архитектура городской среды / С.А. Хасиев. – Москва: Стройиздат, 2001. – 276 с.
4. Иодо, И.А. Основы градостроительства и территориальной планировки: учеб. для вузов / И.А. Иодо, Г.А. Потаев. – Минск: УниверсалПресс, 2003. – 216 с.: 88 илл.
5. Иконников, А.В. Основы архитектурной композиции / А.В. Иконников, Г. Степанов. – Москва: Издательство «Искусство», 1971. – 198 с.
6. Кишик, Ю.Н. Архитектурная композиция: учеб. пособие. – Минск: Выш. шк., 2010. – 191 с.: илл.



7. Улицы Бреста рассказывают... / Л. Илларионова, Ю. Рубашевский, Н. Свинтилова, Т. Стасюк; под общ. ред. П.Н. Тишука. – Брест: ООО «РИА «Вечерний Брест», 2007. – 140 с., фотографии.

УДК 624.01

Джигило А.В.

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

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ, РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО КОСИНУСОИДАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ, НА ПОКРЫТИИ КРУГОВОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОЧЕРТЕНИЯ

Рассматривается действие снеговой нагрузки на криволинейные поверхности покрытий, в частности на поверхности круговой цилиндрической формы, образованные, например, рядом расположенными сегментными деревянными фермами (рис. 1), верхний пояс которых изменяется по круговому закону.

Согласно СНиП [1] снеговая нагрузка на криволинейные покрытия в одном из загружений изменяется по зависимости:

$$q_x = q^* \cos 1,8\varphi_x, \quad (1)$$

где  $\varphi_x$  – угол наклона касательной к поверхности покрытия (рис. 1);  $q^*$  – наибольшее значение нагрузки (при  $x = \ell/2$ ). Зависимость (1) справедлива для  $\varphi < 50^\circ$ .

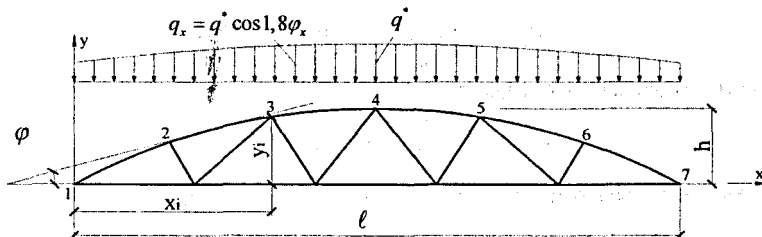


Рисунок 1 – Расчетная схема сегментной фермы

Угол наклона касательной к поверхности покрытия, изменяющегося по круговому закону, определяется зависимостью [2]

$$\varphi = \sqrt{1 - \left(\frac{\ell}{2R} - \frac{x}{R}\right)^2}, \quad (2)$$

где  $R$  – радиус соответствующей окружности, вычисляемой по выражению

$$R = \frac{\ell^2 + 4h^2}{8h}; \quad (3)$$

$\ell$  и  $h$  – пролет и высота покрытия (рис. 1).

С учетом (2) изменение снеговой нагрузки для кругового покрытия будет характеризоваться выражением

$$q_x = q^* \cos \left( 1,8 \arccos \left( \frac{\ell}{2R} - \frac{x}{R} \right) \right) \quad (4)$$

БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Равнодействующая такой нагрузки на произвольном участке ( $x_n \leq x \leq x_k$ ) определяется интегралом

$$R_q = \int_{x_n}^{x_k} q(x) dx = q^* \int_{x_n}^{x_k} \cos \left( 1,8 \arccos \sqrt{1 - \left( \frac{\ell - x}{2R} \right)^2} \right) q x,$$

Для удобства его вычисления введем замену

$$\frac{\ell - x}{2R} = \sin t,$$

в соответствии с которой получим

$$x = \frac{\ell}{2} - R \sin t; \quad dx = -R \cos t dt. \quad (5)$$

В результате выражение для равнодействующей (5) получим в виде

$$\begin{aligned} R_q &= -q^* R \int_{x_n}^{x_k} \cos \left( 1,8 \arccos \sqrt{1 - \sin^2 t} \right) \cos t dt = \\ &= -q^* R \int_{x_n}^{x_k} \cos [1,8 \arccos (\cos t)] \cos t dt = -q^* R \int_{x_n}^{x_k} \cos 1,8t \cos t dt. \end{aligned}$$

Применяя для произведения косинусов двух углов формулу [3]:

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)],$$

последнее выражение преобразуем к виду:

$$R_q = -\frac{1}{2} q^* R \int_{x_n}^{x_k} [\cos 2,8t + \cos 0,8t] dt.$$

Теперь интеграл легко вычисляется:

$$R_q = -\frac{1}{2} q^* R \left[ \frac{1}{2,8} \sin 2,8t + \frac{1}{0,8} \sin 0,8t \right]_{x_n}^{x_k}$$

Учитывая, что в соответствии с (5)  $t = \arcsin \left( \frac{\ell - x}{2R} \right)$ , получим выражение для равнодействующей снеговой нагрузки на произвольном участке в виде:

$$\begin{aligned} R_q &= -\frac{1}{2} q^* R \left\{ \frac{1}{2,8} \sin \left[ 2,8 \arcsin \left( \frac{\ell - x}{2R} \right) \right] + 1,25 \sin \left[ 0,8 \arcsin \left( \frac{\ell - x}{2R} \right) \right] \right\} \Big|_{x_n}^{x_k} = \\ &= -\frac{1}{2} q^* R \left\{ \frac{1}{2,8} \sin \left[ 2,8 \arcsin \left( \frac{\ell - x_k}{2R} \right) \right] - \frac{1}{2,8} \sin \left[ 2,8 \arcsin \left( \frac{\ell - x_n}{2R} \right) \right] + \right. \\ &\quad \left. + 1,25 \sin \left[ 0,8 \arcsin \left( \frac{\ell - x_k}{2R} \right) \right] - 1,25 \sin \left[ 0,8 \arcsin \left( \frac{\ell - x_n}{2R} \right) \right] \right\}. \end{aligned}$$

Приняв  $x_n = 0$ , а  $x_k = \ell$ , получим выражение для полной равнодействующей всей снеговой нагрузки рассматриваемого вида:

$$R_q^* = q^* R \left[ \frac{1}{2,8} \sin \left( 2,8 \arcsin \frac{\ell}{2R} \right) + 1,25 \sin \left( 0,8 \arcsin \frac{\ell}{2R} \right) \right].$$

При расчете покрытий, несущими конструкциями которых являются фермы (например, деревянные сегменты фермы), необходимо уметь вычислять узловые сосредото-

ченные нагрузки (силы), действующие в узлы ферм и передающие в эти узлы соответствующую часть нагрузки, распределенной по неравномерному закону. Для вычисления этих узловых сил нужно знать равнодействующую нагрузки между соседними узлами и точку ее приложения.

Величину равнодействующей нагрузки на  $i$ -ую панель между узлами  $i-1$  и  $i$  (рис. 2), получим по выражению (6), подставив вместо  $x_n$  и  $x_k$  ординаты соответствующих узлов  $x_{i-1}$  и  $x_i$ :

$$R_{qi} = -\frac{1}{2} q^* R \left[ \frac{1}{2,8} \sin \left[ 2,8 \arcsin \left( \frac{\ell}{2R} - \frac{x_i}{R} \right) \right] - \frac{1}{2,8} \sin \left[ 2,8 \arcsin \left( \frac{\ell}{2R} - \frac{x_{i-1}}{R} \right) \right] + 1,25 \sin \left[ 0,8 \arcsin \left( \frac{\ell}{2R} - \frac{x_i}{R} \right) \right] - 1,25 \sin \left[ 0,8 \arcsin \left( \frac{\ell}{2R} - \frac{x_{i-1}}{R} \right) \right] \right]. \quad (6)$$

Для определения точки приложения равнодействующей вычислим моменты нагрузки на участке относительно начала координат  $O$  (рис. 2).

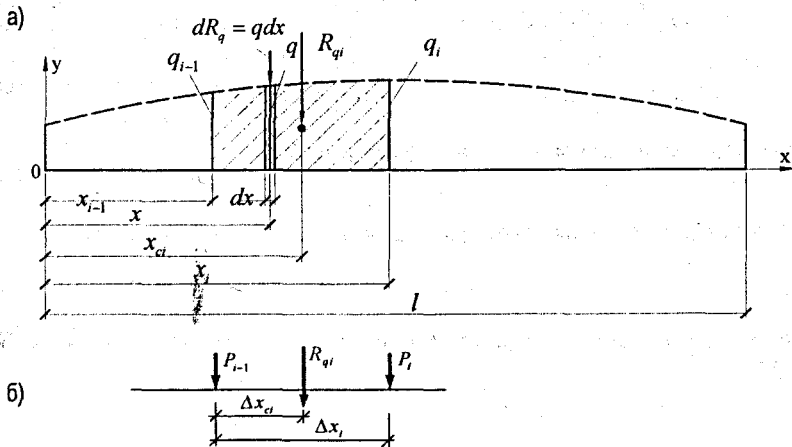


Рисунок 2

$$M_{oi} = \int_{x_{i-1}}^{x_i} x dR_q = \int_{x_{i-1}}^{x_i} q x dx = q^* \int_{x_{i-1}}^{x_i} x \cos \left( 1,8 \arccos \sqrt{1 - \left( \frac{\ell}{2R} - \frac{x}{R} \right)^2} \right) dx.$$

Введя замену (5), получим

$$\begin{aligned} M_{oi} &= -q^* R \int_{x_{i-1}}^{x_i} \left( \frac{\ell}{2} - R \sin t \right) \cos(1,8t) \cos t dt = \\ &= \left[ -q^* R \int_{x_{i-1}}^{x_i} \cos(1,8t) \cos t dt \right] \cdot \frac{\ell}{2} + q^* R^2 \int_{x_{i-1}}^{x_i} \cos 1,8t \sin t \cos t dt. \end{aligned}$$

Выражение в квадратных скобках представляет собой равнодействующую нагрузки на участке  $R_{qi}$  (6), а произведение  $\sin t \cdot \cos t$  равно  $\frac{1}{2} \sin 2t$ . С учетом этого получаем

$$M_{oi} = R_{qi} \frac{\ell}{2} + \frac{1}{2} q \cdot R^2 \int_{x_{i-1}}^{x_i} \cos 1,8t \sin 2tdt.$$

Преобразовывая подинтегральное произведение по формуле [3]

$$\sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)],$$

получим

$$M_{oi} = R_{qi} \frac{\ell}{2} + \frac{1}{4} q \cdot R^2 \int_{x_{i-1}}^{x_i} [\sin 3,8t + \sin 0,2t] dt = R_{qi} \frac{\ell}{2} - \frac{1}{4} q \cdot R^2 \left[ \frac{1}{3,8} \cos 3,8t + \frac{1}{0,2} \cos 0,2t \right] \Big|_{x_{i-1}}^{x_i}.$$

Учитывая, что  $t = \arcsin\left(\frac{l}{2R} - \frac{x}{R}\right)$ , после подстановки пределов интегрирования и несложных преобразований получим

$$M_{oi} = R_{qi} \frac{\ell}{2} - \frac{q \cdot R^2}{15,2} \left\{ \cos \left[ 3,8 \arcsin \left( \frac{l}{2R} - \frac{x_i}{R} \right) \right] - \cos \left[ 3,8 \arcsin \left( \frac{l}{2R} - \frac{x_{i-1}}{R} \right) \right] \right\} - 1,25 q \cdot R^2 \left\{ \cos \left[ 0,2 \arcsin \left( \frac{l}{2R} - \frac{x_i}{R} \right) \right] - \cos \left[ 0,2 \arcsin \left( \frac{l}{2R} - \frac{x_{i-1}}{R} \right) \right] \right\}.$$

Момент нагрузки равен моменту равнодействующей  $R_{qi}$

$$M_{oi} = R_{qi} \cdot x_{ci},$$

Откуда найдем положение точки приложения равнодействующей (рис. 2.a)

$$x_{ci} = \frac{M_{oi}}{R_{qi}}.$$

Теперь несложно выразить и распределение равнодействующей между точками  $i$  и  $i-1$  (рис. 2.б)

$$P_i = R_{qi} \frac{\Delta x_{ci}}{\Delta x_i}; \quad P_{i-1} = R_{qi} - P_i.$$

**Заключение.** Получены зависимости, которые позволяют преобразовать снеговую нагрузку, изменяющуюся по зависимости  $q_x = q \cdot \cos 1,8\varphi_x$  и действующую на круговое покрытие, к системе сил в соответствии со структурой и конструкцией покрытия.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85 / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.

2. Расчет трехшарнирных арок: методические указания по дисциплине «Строительная механика» для студентов строит. специальностей / Сост. В.И.Игнатюк, С.В.Загуляев, В.В. Молош; УО «Брестский государственный технический ун-т». – Брест, 2007. – 32 с.

3. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев; под ред. Г.Г. Гроше и В. Циглера. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

УДК 624.01

Джигило А.В.

Научный руководитель: доцент Игнатюк В.И.

## О СТАТИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ СЕГМЕНТНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ФЕРМ НА ПОСТОЯННУЮ И СНЕГОВУЮ НАГРУЗКИ

Рассматривается статический расчет деревянных сегментных ферм на действие постоянной и снеговой нагрузок, изменяющихся в пределах длин ферм равномерно по косинусоидальному закону ( $\cos 1,8\varphi$ ), либо по треугольной зависимости на левую и правую половины ферм.

**Геометрические характеристики ферм.** Рассматривают три вида (рис. 1) сегментных ферм, верхний пояс которых изменяется по окружности, узлы нижнего пояса расположены равномерно (с равным шагом), а узлы верхнего пояса рассматривают в точках пересечения окружности верхнего пояса и радиусов этой окружности  $R$ , разбивающих полный угол сегмента  $\alpha$  на равные углы  $\Delta\alpha$  (рис. 2) ( $\Delta\alpha = \alpha/n$ , где  $n$  – число панелей на верхнем поясе фермы).

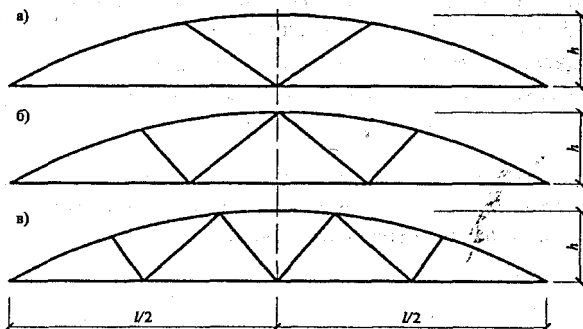
Радиус окружности, образующий верхний пояс фермы, при заданных размерах фермы может быть вычислен по формуле:

$$R = \frac{l^2 + 4h^2}{8h} \quad (1)$$

При заданном соотношении высоты фермы  $h$  к длине ее пролета  $l$  ( $h = kl$ ) получим

$$R = \frac{l^2 + 4k^2}{8k} l = \rho l, \quad (2)$$

где  $\rho = \frac{l^2 + 4k^2}{8k}$  – безразмерный параметр радиуса, не зависящий от длины пролета и одинаковый для всех ферм с заданным соотношением  $k$ .



а) с тремя панелями на верхнем поясе; б) с четырьмя панелями на верхнем поясе;

в) с пятью панелями на верхнем поясе

Рисунок 1 – Схемы сегментных ферм

Угол  $\alpha$ , характеризующий величину сегмента, найдем из соотношений (рис. 2):

$$\sin \alpha = \frac{l}{2R} = \frac{4k}{1 + 4k^2}; \quad \alpha = \arcsin \frac{4k}{1 + 4k^2} \quad (3)$$

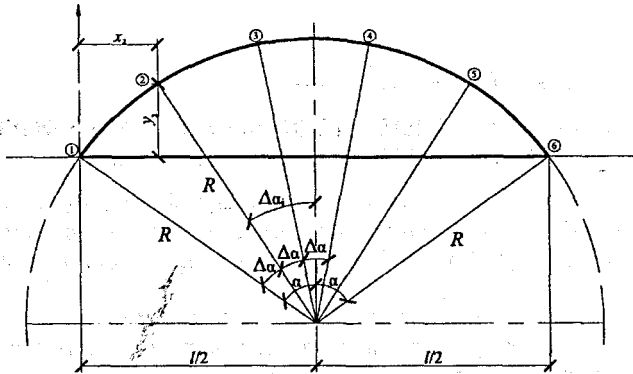


Рисунок 2

Координаты  $i$ -го узла верхнего пояса тогда могут быть найдены по выражениям (рис. 2):

$$x_i = \frac{l}{2} - R \sin(\Delta\alpha_i) = \left[ \frac{1}{2} - g \sin(\Delta\alpha_i) \right] l; \quad y_i = R \sin(\Delta\alpha_i) - (R - h) = \{ g [\cos(\Delta\alpha_i) - 1] + k \} l, \quad (4)$$

$$y_i = R \sin(\Delta\alpha_i) - (R - h) = \{ g [\cos(\Delta\alpha_i) - 1] + k \} l,$$

где  $\Delta\alpha_i = \left[ 1 - \frac{2(i-1)}{n} \right] \alpha$  — угол отмеряемый от средней вертикали оси до радиуса к  $i$ -му узлу против часовой стрелки.

Используя представленные формулы, несложно вычислить все геометрические параметры ферм.

**Расчет узловых сил от нагрузок, распределенных равномерно и по треугольной зависимости.** На фермы могут действовать различные нагрузки [1], распределенные равномерно (постоянная нагрузка), по треугольному закону и по косинусоиду  $\cos 1,8\varphi$  (снеговые нагрузки). Для расчета ферм эти нагрузки необходимо привести к узловым силам. Сделать это можно по нижепредставленным формулам.

Для нагрузок равномерно распределенных по всей длине ферм

$$P_1 = q \frac{x_2}{2}; \quad P_2 = \frac{q}{2}(x_3 - x_1); \quad P_i = \frac{q}{2}(x_{i+1} - x_{i-1});$$

здесь  $x_i$  — расстояние от левого узла фермы (от начала координат) до узла.

Для нагрузок, распределенных по треугольному закону, на половину длины фермы:

а) для ферм с тремя панелями на верхнем поясе:

$$P_1 = qx_2 \left( 0,5 + \frac{1}{3} \frac{x_2}{l} \right); \quad P_2 = \frac{ql}{12} \left[ \frac{x_2}{l} \left( 2 \frac{x_2}{l} - 9 \right) + 5 \right]; \quad P_3 = \frac{ql}{24} \left( 1 - 2 \frac{x_2}{l} \right)^2; \quad P_4 = 0;$$

б) для ферм с четырьмя панелями на верхнем поясе:

$$P_1 = qx_2 \left( 0,5 + \frac{1}{3} \frac{x_2}{l} \right); \quad P_2 = \frac{ql}{6} \left( 1 - \frac{x_2}{l} \right); \quad P_3 = \frac{ql}{24} \left( 0,5 - \frac{x_2}{l} \right)^2; \quad P_4 = P_5 = 0;$$

в) для ферм с пятью панелями на верхнем поясе:

$$P_1 = qx_2 \left( 0,5 + \frac{1}{3} \frac{x_2}{l} \right); \quad P_2 = ql \left[ \left( 0,5 - \frac{2}{3} \frac{x_2}{l} \right) + \left( 0,5 - \frac{2}{3} \frac{x_2}{l} - \frac{1}{3} \frac{x_1}{l} \right) \left( \frac{x_3}{l} - \frac{x_2}{l} \right) \right];$$

$$P_3 = ql \left( 0,625 - \frac{x_2^2}{l^2} - 0,5 \frac{x_3^2}{l^2} + \frac{x_2 x_3}{l^2} - 1,5 \frac{x_2}{l} - \frac{x_3}{l} \right); \quad P_4 = P_5 = P_6 = 0.$$

Для снеговой нагрузки, распределенной по косинусоиде –  $\cos(1,8\varphi)$ , соответствующие зависимости представлены в работе [2].

**Статический расчет ферм.** Рассматриваемые сегментные деревянные фермы на расчетных схемах принимаются шарнирно-стержневыми, а элементы верхнего пояса принимаются прямолинейными. С учетом этого фермы будут статически определимыми и могут быть рассмотрены способом вырезания узлов [3]. Для автоматизации процесса, который позволит рассчитывать соответствующие фермы с различными соотношениями размеров, получим расчетные выражения для определения усилий в элементах ферм, вырезая последовательно узлы ферм. Получим эти зависимости на примере ферм с пятью панелями на верхнем поясе (рис. 3). Это наиболее сложный вариант.

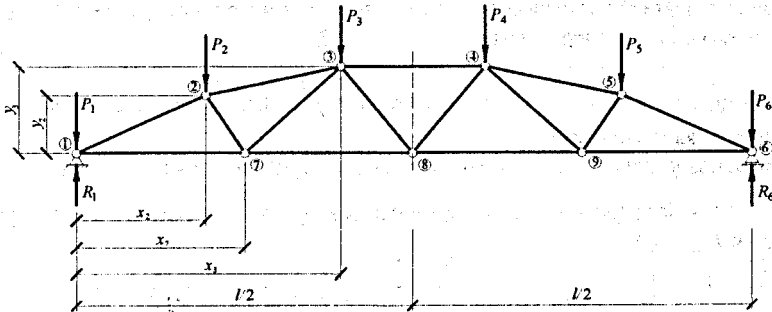


Рисунок 3 – Расчетная схема ферм

Опорные реакции определяются из уравнения равновесия:  $\sum M_1 = 0; \quad \sum M_6 = 0.$

После этого последовательно вырезаем узлы 1, 2, 7, 3 и т.д. и рассматриваем их равновесие. Уравнение равновесия в виде суммы проекций на горизонтальную и вертикальную оси (X и Y) позволяют получить системы уравнений, решая которые, найдем усилия в элементах ферм.

Узел 1:  $\sum x = 0; \quad N_{1-2} \cos \alpha_1 + N_{1-7} = 0;$

$\sum y = 0; \quad N_{1-2} \sin \alpha_1 + R_1 - P_1 = 0;$

Узел 2:  $\sum x = 0; \quad -N_{1-2} \cos \alpha_1 + N_{2-3} \cos \alpha_2 + N_{2-7} \cos \alpha_3 = 0;$

$\sum y = 0; \quad -N_{1-2} \sin \alpha_1 + N_{2-3} \sin \alpha_2 - N_{2-7} \sin \alpha_3 - P_2 = 0;$

Узел 7:  $\sum x = 0; \quad -N_{1-7} + N_{2-7} \cos \alpha_3 + N_{7-3} \cos \alpha_4 + N_{7-8} = 0;$

$\sum y = 0; \quad N_{2-7} \sin \alpha_3 + N_{7-3} \sin \alpha_4 = 0;$

Узел 3:  $\sum x = 0; \quad -N_{2-3} \cos \alpha_2 - N_{7-3} \cos \alpha_4 + N_{3-4} + N_{3-8} \cos \alpha_5 = 0;$

$\sum y = 0; \quad -N_{2-3} \sin \alpha_2 - N_{7-3} \sin \alpha_4 + N_{3-8} \sin \alpha_5 - P_3 = 0.$

Для определения усилий в остальных стержнях фермы можно использовать эти же уравнения, если рассмотреть ферму симметрично с правой стороны, заменив соответственно узлы 1, 2, 7, 3, на узлы 6, 5, 9 и 4, опорную реакцию  $R_1$  на  $R_6$ , а узловые силы  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  на  $P_6$ ,  $P_5$  и  $P_4$ .

Величины углов определяются соотношениями:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{y_2}{x_2}; \quad \alpha_2 = \arctg \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}; \quad \alpha_3 = \arctg \frac{y_2}{x_7 - x_2}; \quad \alpha_4 = \arctg \frac{y_3}{x_7 - x_7}; \quad \alpha_5 = \arctg \frac{y_3}{x_8 - x_7}.$$

По основе полученных зависимостей для расчета геометрических параметров и усилий в элементах ферм разработан алгоритм расчета и составлена программа в среде MathCad.

**Результаты расчета.** Получены результаты расчета трех типов ферм (с тремя, четырьмя и пятью панелями на верхнем поясе) с отношением  $h/l=1/6; 1/7$  от нагружения нагрузками, распределенными равномерно по  $q_x=q$  и по косинусоиде  $q_x = q \cos 1,8\varphi$  на всей длине ферм, а также распределенной по треугольным зависимостям на половины длин ферм, при параметре  $q^*$ , равном единице ( $q^*=1$ ) (см. табл. 1 и 2). Такой подход позволяет получить значения соответствующих коэффициентов, с помощью которых затем можно найти геометрические размеры ферм и усилия в них, умножая эти коэффициенты на величины нагрузки  $q$  и длину пролета ферм  $l$ :

$$l_{cm} = \beta_{cm} l; \quad x_i = \gamma_{xi} l; \quad y_i = \gamma_{yi} l; \quad N = \alpha q l,$$

где  $l$  – длина стержня;  $x_i, y_i$  – координаты  $i$ -го узла фермы;  $N$  – предельное усилие в соответствующем стержне.

Ниже представлены результаты расчетов для одного из вариантов ферм.

Таблица 1 – Коэффициенты для определения координат узлов ферм с 4-мя панелями высотой  $h_{max} = (1/6)l$

№ узла	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma_x$	0	0,23648	0,5	0,76352	1	0,33333	0,66667
$\gamma_y$	0	0,12390	0,16667	0,12390	0	0	0

Таблица 2 – Значения коэффициентов для определения длин стержней и продольных сил в стержнях ферм с четырьмя панелями и  $h_{max} = (1/6)l$

Элемент		Коэффициент $\alpha$ для нагрузки			Коэффициент длины элемента (хорды), $\beta$
Вид	Обозначение	равномерно распределенной на $l$ (а)	распределенной по треугольнику на $l/2$	снеговой $\cos(1,8\varphi_x)$	
Верхний пояс	$O_1$	-0,82257	-0,23429	-0,71933	0,26697
	$O_2$	-0,74765	-0,17356	-0,66293	0,26697
	$O_3$	-0,74765	-0,10078	-0,66293	0,26697
	$O_4$	-0,82257	-0,08978	-0,71933	0,26697
Нижний пояс	$I_1$	0,72862	0,20753	0,63717	0,33333
	$I_2$	0,75	0,125	0,67637	0,33333
	$I_3$	0,72862	0,07952	0,63717	0,33333
Решетка	$D_1$	0,01523	-0,05879	0,02793	0,15727
	$D_2$	-0,01697	0,06551	-0,03112	0,23570
	$D_3$	-0,01697	-0,03610	-0,03112	0,23570
	$D_4$	0,01523	0,03240	0,02793	0,15727



**Заключение.** Представлена методика статического расчета деревянных сегментных ферм на действие постоянной и снеговой нагрузок, изменяющихся в пределах длин ферм равномерно по косинусоидальному закону ( $\cos 1,8\varphi$ ), либо по треугольной зависимости на левую и правую половины ферм. Получены расчетные зависимости, реализованные в Mathcad-программу расчета ферм. Выполнен расчет ряда типов ферм на соответствующие единичные нагружения, и получены результаты, позволяющие определять усилия в фермах с конкретными размерами от заданных величин нагрузок.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07–85 / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
2. Джигило, А.В. Расчет параметров снеговой нагрузки, распределенной по косинусоидальной зависимости, на покрытия кругового цилиндрического очертания / А.В. Джигило, В.И. Игнатюк // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов / БрГТУ. – Брест, 2010.
3. Строительная механика: учебное пособие / А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович, В.И. Игнатюк. – Мн.: БНТУ, 2009. – 756 с.

УДК [72.03 (476.7)] (063)

*Дордюк Т. В.*

*Научный руководитель: ст. преподаватель Воробей А.В.*

#### **ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ И РЕГЕНЕРАЦИИ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ ГОРОДА БРЕСТА**

Брест – город с богатой многовековой историей. Первоначальное месторасположение города – место слияния Мухавца и Западного Буга, пересечение торговых путей из восточнославянских земель в Западную Европу. К XVI веку формируется планировочная структура города. На мысу у слияния Буга и Мухавца, на месте древнего дединца располагался замок. На соседнем острове, сформированном рукавами Мухавца и Угринки – «место в паркане», находилась укрепленная центральная часть города. На соседних островах – предместье Замухавечье, Пяски, «место за парканом». Войны середины XVII-XVIII веков принесли значительные разрушения городу. Тем не менее его планировочная структура не претерпевала значительных изменений, до 1830-х гг., когда было принято решение построить крепость.

Новый город находился в двух верстах от гласиса крепости и состоял из Вольнского и Кобринского предместий. Вольнское предместье располагалось юго-восточнее крепости вдоль ковельского шоссе и имело преимущественно усадебную застройку.

Кобринское предместье располагалось на высоком северном берегу Мухавца и имело регулярную планировочную структуру. На оси Московского шоссе располагался городской центр – почтамп, Симеоновский собор, торговые ряды. Застройка кварталов периметральная, однако в северной части (ул. Мицкевича) сохранились два особняка (1 пол. XIX в.). Сохранившаяся застройка преимущественно 1-2-этажная, каменная. Стиль – эклектика, «кирпичная архитектура», сохранилось несколько зданий с элементами модерна. В конце XIX века в связи со строительством железной дороги строится

здание Брест-Литовского вокзала. Особое значение приобретает район между ул. Совецкой и К. Маркса (Полицейская и Медовая), связывающими вокзал с почтампом и торговыми рядами. Тут концентрируется вся общественно-деловая жизнь города (биржа, думская площадь, дворянское собрание, женская и мужская гимназии, собор и братская церковь). Поскольку 60-70 % населения города составляли евреи, в Брест-Литовске к 1915 году насчитывалось 30 синагог. Самая большая и известная – на пересечении ул. Советской и Будённого (кинотеатр «Беларусь»).

Что касается Брестской крепости, то за время своего существования она неоднократно подвергалась модернизации. Во второй половине XIX века возводится пояс дополнительных укреплений – фортов на расстоянии 4-5 км от внешней границы крепости. К началу Первой Мировой войны – на расстоянии 6-7 км от крепости строится второй пояс фортов, усиленный промежуточными укреплениями.

Первая Мировая война нанесла значительный ущерб белорусским городам и местечкам. При отступлении русских войск в 1915 году было принято решение об эвакуации населения вглубь страны и уничтожении всех оставляемых ценностей (жилой фонд, коммуникации). В Брест-Литовске было разрушено 75 % зданий. Немецкие власти не стали отстраивать Брест, превратив его в «складской» город.



Рисунок 1 – Разрушение города после Первой Мировой войны

С начала 1920-х гг. Брест входит в состав Польской республики как центр Полеского воеводства. Городу отводится роль центра распространения польской культуры на Полесье. С возвращением беженцев возникает жилищный кризис. Для борьбы с кризисом правительство принимает ряд мер. Одной из таких мер была выдача кредитов на строительство жилья.

Для работников администрации возводились жилые районы-«колонии» на землях, принадлежавших ранее крепости. В основу организации застройки была положена идея города-сада Э. Говарда. Застройка спроектирована в стиле, получившем название «стыль народовы».

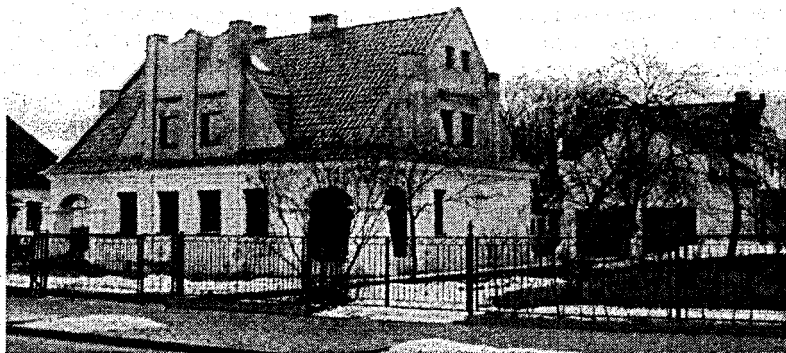


Рисунок 2 – "Стиль народowy"

Этот стиль содержал элементы ренессанса, барокко, рококо, классицизма, ампира. «Идеальным» типом жилого дома был признан дом горцев, отчего рассматриваемый стиль получил название «стиль закопаньски». Были разработаны типовые проекты двух-, четырёх- и восьмиквартирных домов для строительства в «крэсах усходних».

К концу 20-х гг. набирает силу течение функционализма (конструктивизма). Незастроенная территория колоний застраивается особняками и многоквартирными зданиями в стиле конструктивизма. Вдоль ул. Люблинской Унии формируется ансамбль общественных зданий: бюро мелиорации Полесья, банк, воеводское управление, госпиталь.

Необходимо отметить реконструкцию Брестской крепости. Восстанавливаются здания, взорванные при отступлении русскими войсками в 1915 г., гарнизонная церковь перестраивается под костёл. Архитектор Лисецкий придаёт ей облик костёла авгутинецов, разрушенного во второй половине XIX века.

Архитектура Западной Белоруссии в 20-30-е годы XX века развивалась в едином контексте с архитектурой Польши. В Бресте-над-Бугом был сформирован оригинальный и интересный комплекс городского центра, включавший сохранившуюся застройку XIX – нач. XX вв. и застройку 20-30-х гг XX века.

Что касается зоны исторической планировки и застройки Бреста, то она расположена в историческом центре города. Ограничена улицами Орджоникидзе, Героев обороны Брестской крепости, Наганова, Московской и Куйбышева. Общая площадь 170 га. В 1985 г. был разработан комплекс мер по восстановлению и охране исторической градостроительной структуры. В соответствии с проектом в центральной части города выделена зона целевой градостроительной структуры, которая была заложена в 1830-е гг. и сформировалась как новая застройка в 2 км от старого города в связи со строительством там Брестской крепости. В пределах этой градостроительной структуры выделены кварталы с наиболее сохранившейся исторической застройкой XIX – нач. XX века. Это кварталы вдоль улиц К. Маркса, Леваневского, 17 Сентября, Советских пограничников, Советской. А также по улицам Ленина, Гоголя, Московская. Общая площадь 62,3 га.

Город XIX-XX вв. имеет большое количество градостроительных и архитектурных проблем. Историческая структура города составляет маленькую часть современной за-

стройки и имеет этажность не выше 4 этажей. Изначально были запроектированы широкие бульвары, поэтому до настоящего времени Брест – очень зелёный город. Строительство новых высотных зданий в центре приводит к уничтожению архитектурного облика города и его планировочной структуры, разрушает исторический образ. Возникают транспортные проблемы вследствие строительства высотных зданий в центре. По существу происходит то, что в Бресте не случилось даже в годы всех войн XX века, – уничтожение исторического центра. Разрушения всё больше касаются исторической застройки. Удивительная лёгкость, с которой сносят здания XIX века и строят на их месте «красивые» дома, тем самым нарушая архитектурную среду.

Замена окон и дверей в исторической застройке стеклопакетами без соблюдения существовавшего рисунка, потеря архитектурного декора во время ремонтов, изменение высоты и материала покрытия крыши, скобяных изделий – всё это приводит к обезличиванию зданий. Утрачена регулярная планировка западной части исторического центра. На смену ей пришли тупиковые въезды и не связанная с планировкой свободная типовая застройка. Уходит своеобразие города и в результате изменения исторической среды вокруг ценной застройки, прежде всего планировочной структуры и масштаба окружающих зданий и сооружений.

Для предотвращения негативных решений в соответствии с законодательством РБ необходимо уточнить зоны охраны историко-культурных ценностей – исторического центра города Бреста и Брестской крепости. Проектом предусмотрено регулирование масштаба новой застройки вокруг ценностей, в частности её высотности, в соответствии со сложившейся градостроительной ситуацией на основе историко-архивных исследований. Получив в наследие оригинальный и красивый город, следует приложить все усилия, чтобы сохранить его для будущих поколений.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Памяць: Гіст.-дакум. Хроніка Брэста. У 2 кн. Кн. 1-я. – Мн.: БЕЛТА, 2001. – 687 с.: іл.
2. Документы Белорусского Государственного Архива по Брестской области фонд 5 ОП.20 №10.
3. Lukasz Heymann. Nowy Zoliborz 1918-1939. W-wa, 1960.

УДК 725.54:72(2)

*Дуборева Е.А.*

*Научный руководитель: доцент Ширяева Л.А.*

### АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЦЕНТРАХ ДОСУГА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ

Согласно данным ООН, каждый десятый из живущих на Земле людей – инвалид. Сегодня в Беларуси существует более 300 реабилитационных структур. Однако в основном физически ослабленные люди живут, работают, отдыхают, совершают поездки и покупки там же, где и все остальное население.

Проблемы социальной адаптации и поддержки инвалидов продолжают оставаться актуальными и требуют применения новых подходов к их решению.

В данной работе затронута тема, связанная с отдыхом людей-инвалидов различных категорий. А именно – создание развлекательного центра с учетом его посещения

людьми с ограниченными физическими возможностями, и сделан акцент именно на технические изобретения, которые могли бы использоваться в таком роде сооружений для организации досуга.

Главные задачи данной работы:

- проанализировать информацию о существующих центрах реабилитации в РБ, с точки зрения их градостроительной, функциональной и объёмно-планировочной организации, с последующим использованием в проекте развлекательного центра с учетом людей с ограниченными физическими возможностями. Проанализировать функции досуга и отдыха инвалидов, предусмотренные в структуре существующих реабилитационных учреждений;

- проанализировать собранный материал о развлекательных центрах, в частности о их функциональной и объёмно-планировочной организации, с дальнейшим использованием в проекте развлекательного центра с учетом людей с ограниченными физическими возможностями;

- анализ собранного материала о технологических изобретениях в различных областях жизнедеятельности людей – инвалидов с попыткой внедрения в будущий проект развлекательного центра с учетом людей с ограниченными физическими возможностями;

Примеры технологических изобретений для слабовидящих и слепых людей:

- Сенсорная комната (комната психологической разгрузки, комната релаксации, комната "Снузлин", мультисенсорная комната) представляет собой помещение, оборудованное по стандартному или индивидуальному проекту, где ребенок или взрослый, пребывая в безопасной, комфортной обстановке, наполненной разнообразными стимулами, самостоятельно или при сопровождении специалиста исследует окружающее. Сенсорная комната является мощным инструментом для расширения и развития мировоззрения; сенсорного и познавательного развития, проведения психологических консультаций. Обстановка сенсорной комнаты способствует нормализации психического состояния у здоровых и больных людей.

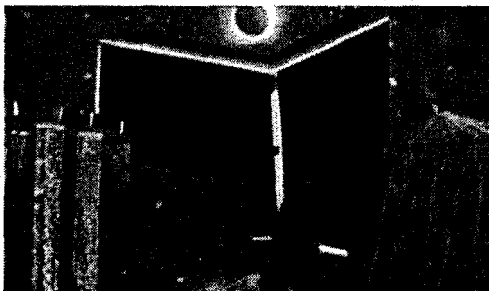


Рисунок 1 – Сенсорная комната

Сенсорная комната может выполнять целый ряд задач:

- создавать успокаивающую среду для отдыха;
- переключать внимание человека с одного типа ощущений на другой, например, наблюдение за световой картиной сменяется прослушиванием мелодий или подбором музыкальных нот, а затем осязанием различных фактур поверхностей;

- развивать творческие способности, воображение. Сенсорная комната дает возможность ощутить себя в другом мире, где все подвластно твоему движению, голосу;
- сенсорная комната позволяет обучать детей различению цветов, оттенков, музыкальных нот, тактильных ощущений.

Одной из разновидностью сенсорной комнаты является «темная комната».



Рисунок 2 – Темная комната" для слепых детей

Тёмная комната дает возможность создания на единой площади с помощью специального реабилитационного оборудования условий для развития всех уровней восприятия окружающей среды (взаимодействие всех действующих сохранных анализаторов у незрячих детей). Правильное полисенсорное развитие, начиная с младенческого возраста (ранняя интервенция), является мощной стимуляцией в обучении незрячих детей общению с окружающим миром и получению от этого удовольствия, а также помогает обучать их применять полученные знания в повседневной жизни. Темная комната представляет собой закрытое темное помещение, оснащенное специализированным оборудованием.

- **Аквариум для слепых.** Одним из удивительных изобретений ученых из технологического института Джорджии является аудиаквариум для слепых. В такой аквариум встроена камера с программой распознавания объектов по их форме и цвету. Программа отслеживает перемещения рыб, меняя тембр и темп проигрываемой мелодии в зависимости от скорости и направления движения.

Так, рыбе, направляющейся ко дну, соответствует более высокий звук. Чем быстрее плывет рыба, тем выше темп мелодии.

Создатели аквариума отмечают, что хотели создать для слепых вещь, которая не была бы функциональной, как большинство соответствующих приспособлений, а привлекала бы владельца.

Разработанная технология позволяет отслеживать не только рыб. Изобретатели уже опробовали ее на муравьях, животных и даже детях, играющих в футбол. В будущем они надеются применить технологию в аквариумах и зоопарках на территории всех Соединенных Штатов. Одним из первых может стать самый крупный аквариум мира, Georgia Aquarium.



Рисунок 3 – Аквариум для слепых

- Автомобиль для слепых. В политехническом университете Вирджинии, создан первый в мире автомобиль для незрячего водителя. Новинка основана на работе специальных датчиков, которые помогут слепому водителю без чужой помощи добраться до места назначения. Над автомобилем, представляющим собой четырехколесный багги, работали с 2004 года. Машину успешно протестировали на полигоне лаборатории робототехники и механических устройств Virginia Tech. Слепой водитель может управлять автомобилем, как и зрячий, только информацию он получает в виде голосовых и звуковых команд, а также при помощи вибрации. Новинка оснащена лазерными датчиками, считывающими информацию о дороге. Скорость движения водитель может узнать при помощи специального жилета, измеряющего частоту вибраций. Специальный звуковой сигнал информирует об угле поворота колеса, а бортовой компьютер голосовыми командами подсказывает, в каком направлении нужно ехать.

- вспомогательные технологии для работы за компьютером инвалидам:

- Системы считывания экранной информации, синтезаторы

Системы считывания экранной информации преобразуют изображение на мониторе в текст. Синтезатор, в свою очередь, произносит этот текст голосом хотя и несколько "металлическим", но довольно похожим на человеческий.

- Программы для распознавания речи

Системы Naturally Speaking компании Dragon Systems и ViaVoice компании IBM позволяют диктовать компьютеру, как стенографистке, не делая пауз между словами. Эти продукты неспособны воспринимать быструю речь, но тем не менее они намного опередили своих предшественников, распознававших лишь "дискретную" речь. Системы распознавания естественной речи позволяют работать лишь с некоторыми приложениями.

Благополучная интеграция в общество и создание вокруг инвалидов благоприятной социальной атмосферы – одна из первоочередных задач современного цивилизованного общества.

Создания развлекательного центра с учетом людей с ограниченными физическими возможностями приблизит идею повсеместной безбарьерной среды к реальности.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Журнал // Архитектура и строительство/
2. Система этапной медицинской реабилитации больных в ГУ «Республиканская больница» УД Президента Республики Беларусь. Республиканская больница Управления делами Президента РБ, НИИ медико-социальной экспертизы и реабилитации / И.С. Абельская, В.Б. Смычэк, О.К. Баханович, А.Н. Михайлов.
3. Газета «Завтра твоей страны».
5. Центр реабилитации незрячих детей и их родителей "Я и МАМА" nasibulova@mail.ru.
6. Методические материалы ООО ПКФ "Альма".
7. Компания "Аквадизайн".
8. Рекомендации по проектированию центров реабилитации инвалидов. – М.: Моско-мархитектура 1999.
9. «Свободная пресса» газета.
10. Computerworld, Россия, №11, 1998.
11. ЗАО "Лента.Ру" (1999-2009).
12. История развития досуговых учреждений для людей с ограниченными физическими возможностями: социальные и архитектурные аспекты // Н.В. Шолух, А.О. Харченко.

УДК (063.3)

**Желудко А.А.**

**Научный руководитель: ст. преподаватель Воробей А.В.**

## ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОРТИФИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ ПЕРИОДА ПЕРВОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ

### Введение

В настоящее время в Беларуси все сильнее возрастает интерес к отечественной истории. Хотелось бы обратить особое внимание на наследие, оставленное нам Первой мировой войной. Огромное количество сохранившихся сооружений полевой фортификации до сих пор разбросаны по бывшей линии фронта, протянувшейся через всю территорию Беларуси. Им не уделяется должного внимания ввиду очень ограниченного количества информации, освещающей события, происходившие во время Первой мировой войны, полыхавшей на нашей земле около 100 лет назад. Только одно их количество (около тысячи) показывает, как дорого заплатил наш народ за эту войну. Никому не нужные и даже банально не изученные, эти фортификационные сооружения постепенно приходят в полную негодность, хотя многие из них сооружений находятся в достаточно хорошем состоянии для использования в музейных, туристических и иных целях.

### Фортификация. Краткая характеристика предмета

Фортификация – военная наука об искусственных закрытиях и преградах, усиливающих расположение войск во время боя и называемых поэтому фортификационными постройками (от фр. fortifier – укреплять, усиливать). Фортификация изучает совершенствование местных естественных закрытий и преград и усиление их закрытиями и преградами искусственными. Фортификационное сооружение – постройка, предназначенная для укрытого размещения и наиболее эффективного применения оружия, военной тех-



ники, пунктов управления, а также для защиты войск, населения и объектов тыла страны от воздействия средств поражения противника. Фортификация как наука об искусственных закрытиях и преградах разделяется на полевую и долговременную.

### Долговременная фортификация

Основным типом фортификационных сооружений долговременного характера на территории Беларуси периода ПМВ являются крепости и прилегающие к ним форты. На территории современной Беларуси было построено три крепости: в Брест-Литовске, Гродно и Бобруйске. В Брестской крепости (в одной из первых российских крепостей) был применен принцип строительства фортов. Форт – отдельно стоящее укрепление, защищающее подступы к цитадели. Форты, как правило, объединялись в оборонительные пояса. Располагаясь на расстоянии 2-3 км друг от друга, они находились в непосредственной огневой связи. Гродненская крепость, к примеру, не имела центрального укрепленного ядра и состояла из фортов, расположенных вокруг города. Имеющиеся на нашей территории крепости в Первую мировую войну были оставлены русскими войсками и не сыграли абсолютно никакой роли в обороне государства.

### Полевая фортификация

Говоря о полевой фортификации, следует иметь в виду, что это был основной вид фортификации Первой мировой войны, прошедший в то время огромный отрезок развития от банальных рядов окопов до сложнейших систем траверсных траншей с ходами сообщения, штольнями, складами и т.п.

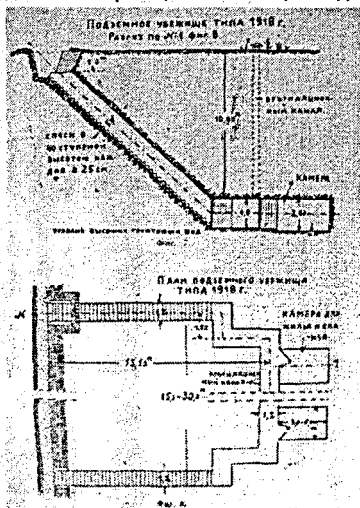


Рисунок 1 – Чертеж штольни

По типу фортификационные сооружения можно разделить на следующие категории:

1. **Укрытия** – сооружения, предназначенные для укрытия личного состава от артиллерийского огня неприятеля. Также могли использоваться в качестве жилых помещений, размещения штабов войсковых подразделений. Чаще всего укрытия возводились из деревянных бревен. Как отдельный тип укрытия можно выделить подземное укрытие – *штольня* (Рис.1), которое сооружалось на глубине до 15 метров под землей.

2. **Наблюдательный пункт (НП)** – сооружение, предназначенное для ведения визуального наблюдения за неприятелем. Как правило, размеры таких сооружений были весьма небольшими, они позволяли размещать лишь нескольких человек. Для наблюдения оборудовались амбразуры. Наблюдение велось с использованием оптических приборов. Иногда НП совмещался с небольшим укрытием.

3. **Пулеметная огневая точка** – сооружение, предназначенное для ведения огня из пулемета с возможностью укрытия расчета от ружейного и артиллерийского огня неприятеля. Амбразуры в них делались гораздо больше по высоте, чем амбразуры наблюдения и выполнялись с характерными противорикошетными уступами.

4. **Укрытия для орудий** (Рис.2) – сооружение, предназначенное для размещения орудия с возможностью ведения огня по неприятелю. Как правило, такие сооружения возводились позади передовой линии, на расстоянии от 2 до 4 км. Удельный вес таких сооружений очень небольшой. Наибольшее количество таких сооружений было выявлено в окрестностях в города Барановичи (более 10 сооружений, д. Столовичи). Сооружения были довольно большими по размерам, поскольку имели отдельные помещения для размещения запаса боеприпасов и для размещения расчета.



Рисунок 2 – Укрытие для орудия

5. **Склад** – сооружение, предназначенное для хранения боеприпасов, обеспечивающее защиту от артиллерийского огня неприятеля. Расположены на расстоянии 2-3 км позади передовой линии.

6. **Траншеи и окопы** (Рис.3). Основным видом траншеи была траверсная траншея. Траверс – выступ стенки или V-образный изгиб траншеи, предназначенный для защиты бойцов при захвате части траншеи.

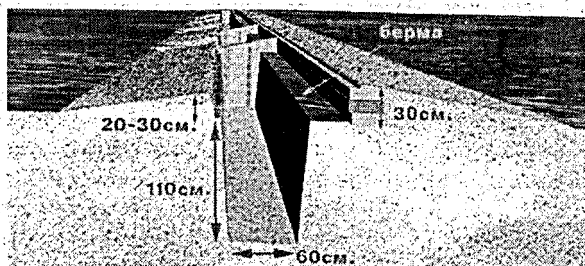


Рисунок 3 – Разрез стандартной траверсной траншеи

Практически все сооружения были отлично оборудованы для размещения войск (они были оборудованы электричеством, водоснабжением, печами, защитой от отравляющих газов, обеспечены должной гидроизоляцией и даже внутренней отделкой). В тылу позиций была построена обширная узкоколейная сеть, которая обеспечивала коммуникации, как между передовыми позициями, так и вдоль них. Также вблизи узкоколеек размещались бетонные заводы, где изготовлялись бетонные и железобетонные блоки.

К сожалению, за прошедший промежуток времени длиной почти в сто лет многие оставшихся сооружений сильно ухудшилось. Многие из оставшихся в результате хозяйственной деятельности человека оказались полностью разрушенными или просто засыпаны землей. Однако многие сооружения дожили до наших дней, хотя и в разном состоянии. Можно встретить отлично сохранившуюся внутреннюю штукатурку со следами покраски. Также иногда можно увидеть сохранившиеся оригинальные номера и художественно оформленные барельефы, где мог быть указан год постройки или номер подразделения, которое его строило. Очень трудно в настоящее время дать количественную оценку оставшихся сооружений. По некоторым данным их насчитывается около тысячи(!)

### Предложения по использованию

Примерами использования фортификационных сооружений на территории современной Беларуси являются историко-культурный комплекс «Линия Сталина» и мемориальный комплекс «Брестская крепость-герой» с филиалом «Форт №5». Также идут работы по постройке комплекса «Станьково».

Историко-культурный комплекс "Линия Сталина" представляет собой военно-исторический музей под открытым небом. В музее воссоздан и оборудован ротный участок укрепрайона. Показателен пример Финляндии. Перед Второй мировой войной там была сооружена так называемая линия Салпа, которая протянулась через территорию всей страны, но так и не была использована по назначению. Создано несколько музейных комплексов: музей линии Салпа в Миехияля, музей-бункер Виролахти, парк ветеранов в Йознсу (Рис.4), музей ветеранов в Пуумала. Для ознакомления с укреплениями линии Салпа проложен пешеходный маршрут, который называется тропа Салпа (Salpa polku). Маршрут протяженностью около 50 км. Предложением по использованию имеющихся фортификационных сооружений будет создание музея-скансена. Наиболее перспективным местом для его создания является район трассы М1Е30 южнее города Барановичи, который бывшая линия фронта пересекает под прямым углом. На основе изучения архивных документов и остатков укреплений создать линии укреплений русской и немецкой армии и музей Первой мировой войны. Для позиций возможно воссоздание одной из реально существовавших систем полевых укреплений в районе Баранович – «Болотный холм», «Фердинандов нос». В состав комплекса должны быть включены отреставрированные и законсервированные фортификационные сооружения, воссозданные участки немецких и русских позиций, открытая экспозиция техники и артиллерии, крытый музей Первой мировой войны, гостиничный комплекс, прилегающая инфраструктура, а также близлежащие туристические объекты.

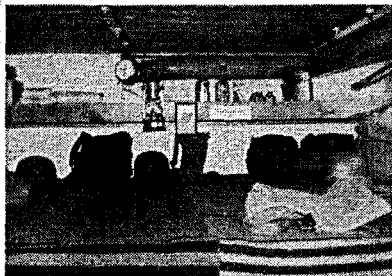


Рисунок 4 – Экспозиция музея в парке ветеранов в Йознсу

В заключение хочется отметить, что разработка подобных проектов позволит привлечь не только белорусских туристов, но и зарубежных гостей. Если в Беларуси будет создана четкая система туристических объектов и значительная информационная база, которая обеспечит простой доступ к ним, то увеличение туристических потоков только положительно отразится на экономическом развитии страны.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шелавин, Н. Германские позиции 1915-1918 г.г. на Западном фронте // Война и Революция, – Москва 1920.

2. Пивоварчик, С.А. Белорусские земли в системе фортификационного строительства Российской империи и СССР (1772-1941), Гродно: ГрГУ, 2006.

3. Статья «Фортификация» / по материалам сайта [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

4. Подорожный, Н.Е. Нарочанская операция в марте 1916 / по материалам сайта [www.grwar.ru](http://www.grwar.ru)

5. Тадра, В. Краткий анализ немецких фортификационных сооружений ПМВ на территории Беларуси (по результатам полевых исследований) / по материалам сайта [www.fortressby.com](http://www.fortressby.com)

6. Малышев, Г.В. Нарочанское эхо Вердена / по материалам сайта [www.fortressby.com](http://www.fortressby.com)

УДК 69.003 (075)

**Крагель Н.Н.**

*Научный руководитель: старший преподаватель Срывкина Л.Г.*

### ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТРАТ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Целью настоящей работы является изучение порядка расчета транспортных затрат в подрядных строительных организациях республики и исследование причин возникновения отклонений между нормативными и фактическими затратами.

Значение транспорта в строительстве обусловлено большой материалоемкостью строительных работ (стоимость материалов, изделий, конструкций составила в среднем 55,99 % в среднереспубликанской структуре строительно-монтажных работ в 2009 г. по данным [1]), значительной трудоемкостью погрузочно-разгрузочных работ и заготовительно-складских операций.

На рис. 1 представлена динамика транспортных затрат, исчисленных в соответствии с действующей нормативной базой ценообразования в строительстве и включенных в форму С-3 «Справка о стоимости выполненных работ и затрат», в сопоставлении с фактическими затратами по ОАО «Строительный трест № 8» за 2006-2009 годы. Разница

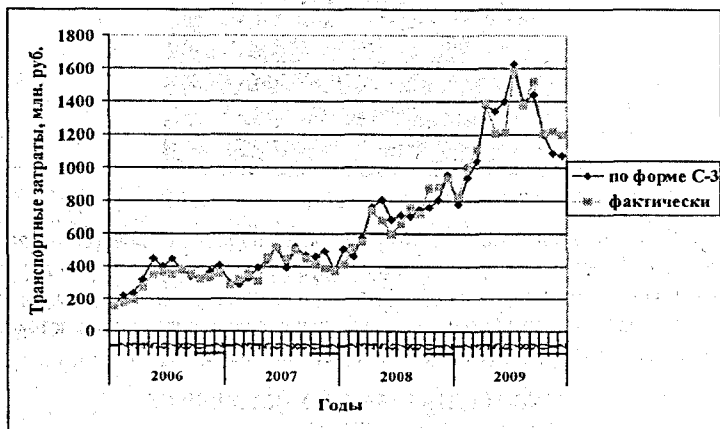


Рисунок 1 – Динамика транспортных затрат по форме С-3 и фактических по ОАО «Строительный трест № 8»

между рядами данных свидетельствует о наличии отклонений между нормативными (по форме С-3) и фактическими затратами. В периоды, когда нормативные затраты превышали фактические, трест получал дополнительную прибыль. И наоборот, если нормативные затраты, оплаченные заказчиком, были ниже фактических, трест нес убытки по данной статье затрат.

В целом наблюдается тенденция роста убытков по транспортным затратам (рис. 2) в соответствии с линейным трендом  $y = -172,5 * x + 592,5$ . Адаптивные свойства уравнения тренда можно оценить достаточно высоким коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,8791$ .

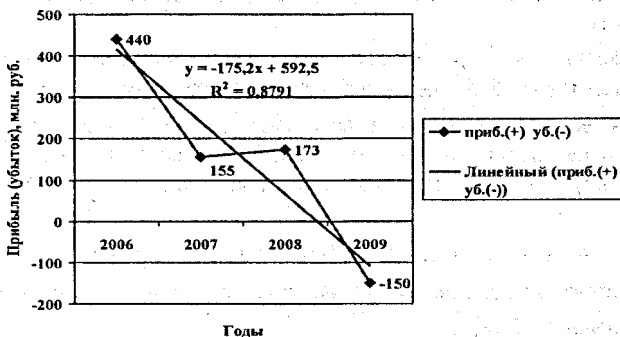


Рисунок 2 – Прибыль и убытки за счет превышения транспортных затрат форме С-3 над фактическими затратами по ОАО «Строительный трест № 8»

Данная тенденция вызывает беспокойство, особенно с учетом того, что транспортные затраты занимают немалую долю в общем объеме строительно-монтажных работ по тресту: в 2006 г. – 6,4 %, в 2007 г. – 6,7 %, в 2008 г. – 5,3 %, в 2009 г. – 5,9 %.

Для исследования механизма возникновения отклонений между нормативными и фактическими транспортными затратами нами был рассмотрен порядок формирования данных затрат по объекту «94-квартирный жилой дом по ул. Житней в г. Бресте», где генподрядчиком является СУ-98 ОАО «Строительный трест № 8».

Для исследования были отобраны следующие материалы:

- 1) кирпич силикатный утолщенный полнотелый рядовой размером 250x120x88 мм марки 150 СУР-150/35, изготовитель – ОАО «Гродненский комбинат стройматериалов»;
- 2) кирпич керамический рядовой полнотелый обыкновенный марки 150 КРО-150/15, изготовитель – ОАО «Брестский КСМ»;
- 3) кирпич керамический рядовой эффективный утолщенный размером 250x120x88 мм марки 125 КРПУ-125/75, изготовитель – ПРУП «Горынский КСМ»;
- 4) блоки из ячеистых бетонов стеновые 2-й категории, класс бетона В2,5, плотность 600 кг/м<sup>3</sup>, изготовитель – ОАО «Березовский КСИ».

В качестве расчетного периода принят февраль 2010 г.

**Нормативные транспортные затраты и заготовительно-складские расходы (ТЗСР<sub>н</sub>)** рассчитаны в соответствии с нормативной базой ценообразования в строительстве [1, 2, 3, 4] по следующей формуле:

$$ТЗСР_{н} = ОЦ_{ср.баз} * (1 - k_{зср}) + Ц_{тр} * I_{мз} * k_{зср}, \quad (1)$$

где  $OЦ_{ср.взв}$  – средневзвешенная отпускная цена материала представителя, руб., определена по [1, кн. 2] для февраля 2010 г.;

$k_{зсп}$  – коэффициент, учитывающий заготовительно-складские расходы и приходящиеся на них налоги, принят равным  $k_{зсп} = 1,0224$  для рассматриваемых видов материалов в соответствии с [4, п. 2.8];

$Ц_{тп}$  – базисная сметная стоимость транспортных затрат на 01.01.2006 г., руб., определена по [5];

$I_{тз}$  – индекс изменения стоимости транспортных затрат, принят по [1, кн. 1] для февраля 2010 г.

**Фактические транспортные затраты и заготовительно-складские расходы ( $ТЗСР_{ф}$ )** рассчитаны для следующей транспортной схемы: доставка от завода-изготовителя до базы управления производственно-технологической комплектации (УПТК) треста; перевозка автомобилем МАЗ 82-28 грузоподъемностью 10 т, находящимся на балансе СУ-98, до приобъектного склада на расстояние 10 км. Формула расчета имеет вид:

$$ТЗСР_{ф} = OЦ_{изг} * N_{уптк} / 100 + *(З_{1м-ч} * n_{м-ч} + З_{1км} * L) / Q_{1р}, \quad (2)$$

где  $OЦ_{изг}$  – отпускная цена завода-изготовителя, руб., по фактическим данным;

$N_{уптк}$  – наценка УПТК, %;

$З_{1м-ч}$  – затраты на один мото-час работы автомобиля, руб.;

$З_{1км}$  – затраты на один километр движения автомобиля, руб./км;

$n_{м-ч}$  – количество мото-часов на один рейс в две стороны (принято 2,5 мото-часа);

$L$  – расстояние перевозки в две стороны, км;

$Q_{1р}$  – объем перевозки материалов за один рейс, нат. изм., по фактическим данным.

Затраты на перевозку автомобилем МАЗ 82-28 исчислены по фактическим данным СУ-98 за февраль 2010 г.:  $З_{1м-ч} = 27725$  руб.;  $З_{1км} = 1987$  руб.

Наценка  $N_{уптк}$ , взимаемая УПТК, составляет: для кирпича СУР-150/35 ОАО «Гродненский комбинат стройматериалов» – 18,7 %; для кирпича КРО-150/15 ОАО «Брестский КСМ» – 13 %; для кирпича КРПУ-125/75 ПРУП «Горынский КСМ» – 20 %; для блоков ОАО «Березовский КСИ» – 20 %.

Результаты расчетов представлены на рис. 3. Они свидетельствуют о том, что трест несет убытки от превышения фактических транспортных затрат над нормативными по кирпичу КРПУ-125/75 ПРУП «Горынский КСМ» – в размере 4375 руб. на 1 тыс. штук; по блокам газосиликатным ОАО «Березовский КСИ» – в размере 10115 руб. на 1 м<sup>3</sup>.

Очевидно, что одним из направления сокращения транспортных затрат является выбор поставщиков с учетом оптимальных транспортных схем, что не соблюдается для отдельных материалов, например, для кирпича КРПУ-125/75 ПРУП «Горынский КСМ».

Предлагаем еще один способ сокращения транспортных затрат: **расчет наценки УПТК с учетом безубыточности по транспортным затратам**. Для этого приравняем левые и правые части выражений (1) и (2), примем отпускную цену завода-изготовителя равной средневзвешенной цене материала-представителя и получим раз-

мер наценки УПТК, при котором нормативные транспортные затраты будут равны фактическим:

$$N_{\text{уптк}} = (1 - k_{\text{зсп}} + \frac{C_{\text{мр}} * I_{\text{мз}} * k_{\text{зсп}}}{OЦ_{\text{ср.взв}}} + \frac{З_{1\text{м-ч}} * 2,5 + З_{1\text{км}} * L}{OЦ_{\text{ср.взв}} * Q_{1\text{р}}}) * 100. \quad (3)$$

В предварительных расчетах рекомендуется принимать значение расстояния перевозки до объекта  $L$  в соответствии с зоной строительства: для городского строительства – 20 км, для строительства в сельской местности – 60 км, для строительства в г. Минске – 30 км [4, п. 2.8]. Количество материала, перевозимого за один рейс, при наличии в автопарке машин различной грузоподъемности следует принимать как средневзвешенную величину.

Фактически принимаемая наценка с учетом складских расходов (содержания заготовительного аппарата, содержания складов, утери и порчи материалов), а также прибыли от деятельности УПТК и налогов должна быть не выше значения, рассчитанного по формуле (3). В этом случае будет обеспечиваться безубыточность по транспортным затратам.

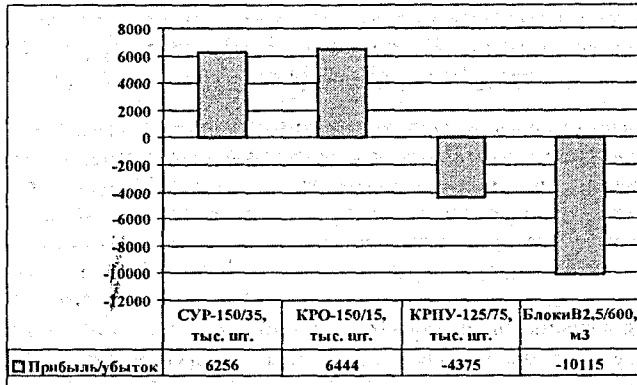


Рисунок 3 – Прибыль и убытки на единицу измерения строительных материалов

На основании проделанной работы можно сделать следующие выводы.

1. Существующий механизм ценообразования в строительстве применительно к транспортным затратам стимулирует строительные организации:

- к выбору поставщиков материальных ресурсов с учетом оптимизации транспортных схем;
- к сокращению себестоимости перевозок собственным транспортом;
- к анализу и учету предстоящих транспортных затрат при составлении договоров строительного подряда.

2. Для обеспечения безубыточности по транспортным затратам расчет наценки УПТК целесообразно выполнять по предложенной формуле (3).

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сборник индексов изменения стоимости, цен и тарифов в строительстве по регионам и в среднем по Республике Беларусь. Книги 1, 2. – Минск: Минстройархитектуры РБ.

2. Методические указания по определению сметной стоимости строительства в текущем уровне цен, расчету и применению индексов цен в строительстве: РСН 8.01.105-2007. – Введ. 01.01.2008. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2008.

3. О декларировании стоимости строительно-монтажных работ по объектам, строительство которых осуществляется за счет средств бюджета: постановление Кабинета Министров РБ 07 дек. 1994, № 233.

4. Методические указания по применению ресурсно-сметных норм: РСН 8.01.104-2007. – Введ. 01.01.2008. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2008. – 22 с.

5. Сборник сметных цен на материалы, изделия и конструкции. Часть I, II, III, IV, V: РСН 8.06.101-2007 – РСН 8.06.105-2007. – Введ. 01.01.2008. – Минск: Минстройархитектуры РБ.

УДК 624.014.2

*Кривицкий П.В.*

*Научные руководители: профессор Малиновский В.Н., доцент Шалобьта Н.Н.*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОНА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК В ЗОНЕ ПОЛОГОГО ОТГИБА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ ПОЛОГО ОТОГНУТОЙ АРМАТУРЫ**

Применение отгибаемой арматуры позволяет создать изменение напряженно-деформированного состояния сечения в соответствии с изменением усилий от внешней нагрузки, а также осуществить экономию стали. Кроме того, благодаря отгибу части продольной арматуры, как свидетельствуют результаты экспериментальных исследований [1, 2, 3, 4], повышается сопротивление элемента действию поперечных сил. При этом решаются и другие важные вопросы: рассредоточивается напрягаемая арматура по торцу балки, создается обжатие бетона опорных частей в вертикальном направлении и уменьшается вероятность образования горизонтальных трещин на концевых участках, улучшаются условия бетонирования зон передачи преднапряжений с арматуры на бетон. В то же время указывается на необходимость дополнительного экспериментального исследования влияния отгиба продольной напрягаемой арматуры на напряженно-деформированное состояние бетона, трещиностойкость и прочность нормальных сечений балок в зоне отгиба.

Проведенные ранее экспериментально-теоретические исследования [4] позволили выявить определенные особенности НДС и механизм разрушения железобетонных балок с отогнутой преднапряженной арматурой, однако влияние отгиба преднапряженной арматуры на несущую способность не выявлено. Исчерпание несущей способности опытных балок независимо от степени предварительного напряжения произошло в зоне максимальных изгибающих моментов из-за характерного выкола бетона с одновременным его раздроблением. В балках, загружаемых пролетными нагрузками в местах расположения перегиба арматуры, от зоны раздробления бетона наклонно развивалась сдвиговая трещина и, достигнув продольной арматуры, изменяла направление ко второму пролетному грузу. В балках, у которых места расположения перегибов арматуры и сосредоточенных сил не совпадали, трещина сдвига развивалась в направлении расположения перегиба. Причем, в балках, у которых перегиб арматуры располагался в зоне

40



совместного действия момента и поперечной силы кроме трещины сдвига в направлении перегиба, наметилась трещина и в противоположном направлении.

Экспериментальные данные деформаций бетона верхней грани свидетельствуют, что в балках прямоугольного сечения с отгибами имеет место пик на эпюрах деформаций сжатия вблизи нормального сечения, проходящего через точку перегиба отогнутой арматуры. Величина этих деформаций значительна и близка к предельной сжимаемости бетона, чем и объясняется разрушение именно в этих зонах. Кроме того, на всех этапах загрузки деформации сжатого бетона в балках с отгибами у мест расположения перегиба арматуры больше величин деформаций сжатого бетона в средней части балки. Относительные деформации бетона средней части балки сравнимы с деформациями бетона сжатой зоны балок с прямолинейной арматурой.

По результатам экспериментально-теоретических исследований [4] была предложена возможная схема работы нормальных сечений вблизи отгиба балки. Зона бетона в непосредственной близости от отгиба находится под действием силы нагружения сверху, результирующей составляющей отгибов снизу и боковых сжимающих от изгиба. В результате этого образуется участок бетона, находящийся в условиях двусосного напряженного состояния – силовая обойма, где развитие деформаций затруднено по сравнению с бетоном за пределами обоймы помимо этого, нагружающая сила действует продавливанием на бетон балки, а результирующая сила в отгибах – в виде силы отрыва. По поверхности продавливания и отрыва действуют помимо нормальных и касательные напряжения. Поверхности продавливания и отрыва формируют в непосредственной близости от отгиба зону повышенного деформирования сжатого бетона, а результирующая касательных напряжений, действующих по поверхности продавливания и отрыва, образует выталкивающую силу части объема повышенной деформативности. При таком напряженном состоянии объясняется причина всплеска деформаций по верхней грани балки, характер разрушения и образования сдвигающих трещин, распространяющихся от зоны выкола бетона до растянутой арматуры.

Для углубленного исследования напряженно-деформированного состояния бетона железобетонных балок в зоне полого отгиба предварительно напряженной полого отогнутой арматуры разработана численная расчетная модель для расчета НДС с помощью ЭВМ.

В качестве метода решения задачи выбрано конечно-элементное моделирование с использованием разработанной программы «BALKA», где расчетные модели представляют собой плоский вид железобетонных балок длиной 300 см с расчетным пролетом 270 см. Рабочая арматура (четыре напрягаемых стержня диаметром 14 мм класса S600) размещается в два ряда с рабочей высотой сечения  $d = 25$  см. В балках с отогнутой арматурой (БО) стержни верхнего ряда в третях пролета переведены из нижней зоны к верхней грани опорного сечения под углом  $12^\circ$ . В балках с прямолинейной арматурой (БП) все четыре стержня имеют прямолинейную траекторию. В сжатой зоне балок БО и БП устанавливались два ненапрягаемых стержня диаметром 12 мм класса S400. Усилие от предварительного натяжения арматуры прикладывалось как внешняя сжимающая сила к крайнему конечному элементу у торца арматуры. Арматура связана с бетоном при помощи специальных связующих элементов (СЭ), допускающих взаимные сдвиги арматуры относительно бетона, имитирующих сцепление арматуры с бетоном. Необходимый уровень усилия предварительного натяжения устанавливался путем сравнения

максимального выгиба моделируемой балки после создания в ней преднапряжения с данными выгибов экспериментальных балок [4].

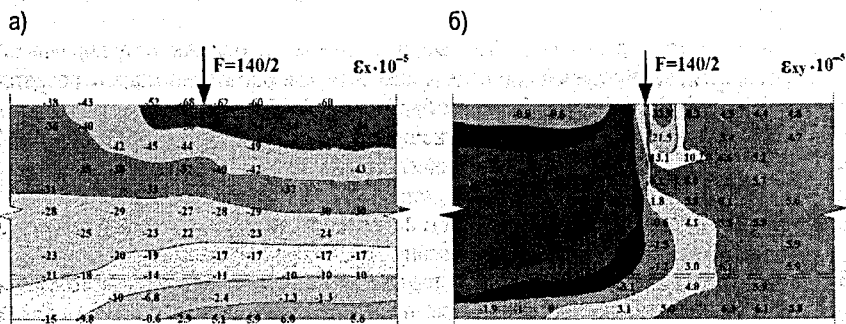
Расчеты производились для балок с прямолинейной и отогнутой арматурой при действии на них двух сосредоточенных сил, приложенных симметрично относительно середины пролета балки на расстоянии 850 мм от опор балок. Анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) проводился для балок с прямолинейной арматурой (рисунок 1) и для балок с отогнутой арматурой (рисунок 2) на стадии предварительного обжатия бетона и на стадии загрузки при совместном действии сил обжатия.

По результатам численного моделирования получили:

1. В балках с частью отогнутой преднапряженной арматурой на стадии предварительного обжатия в зоне отгиба сформировалась область с повышенными значениями сжимающих горизонтальных ( $-80 \cdot 10^{-5}$ ), растягивающих вертикальных ( $15,3+17,4 \cdot 10^{-5}$ ) деформаций и деформаций сдвига ( $48 \cdot 10^{-5}$ ), а в балках с прямолинейной арматурой картина распределения горизонтальных и вертикальных деформаций подчиняется нормальному закону. Максимальные растягивающие горизонтальные деформации ( $20,4+20,7 \cdot 10^{-5}$ ) возникали по верхней грани балки, а с приближением к нижней грани уменьшались и переходили в максимальные сжимающие ( $-71 \cdot 10^{-5}$ ); наибольшие значения растягивающих вертикальных деформаций имели место на нижней грани ( $13,2 \cdot 10^{-5}$ ), а с приближением к верхней грани уменьшались до  $-3,2 \cdot 10^{-5}$ .

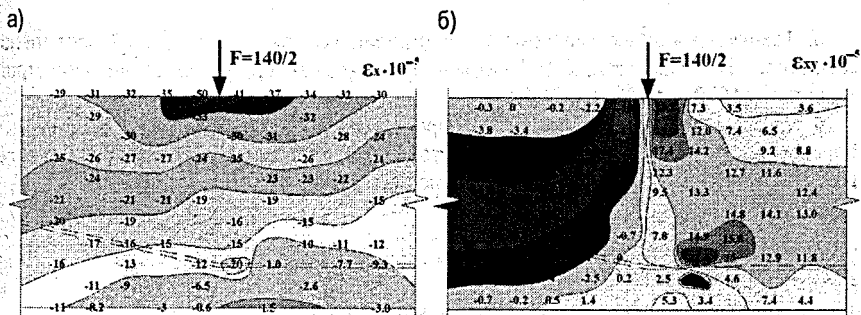
2. При загрузении внешней нагрузкой в балках с прямолинейной напряженной арматурой имеются условия для образования нормальных трещин на нижней растянутой грани, начиная с зоны приложения внешней нагрузки и дальше по длине балки. В балках с отогнутой арматурой с приложением нагрузки вертикальные и горизонтальные деформации уменьшались от зоны отгиба с приближением к торцу и середине балки.

3. В балках с отогнутой арматурой в зоне отгиба деформации сдвига с приложением внешней нагрузки уменьшаются ( $22,4 \cdot 10^{-5}$ ), однако их величины значительно отличаются от величин деформаций с приближением к середине балки. В приопорной зоне сдвиговые деформации увеличились с  $1,5+3,0 \cdot 10^{-5}$  до  $7,6+9,4 \cdot 10^{-5}$ , однако их значения меньше на  $7,4+8,8 \cdot 10^{-5}$  сдвиговых деформаций, возникающих в балках с прямолинейной преднапряженной арматурой.



а – горизонтальные деформации, б – деформации сдвига

Рисунок 1 – Картина распределения деформаций ( $\epsilon_{\gamma} \cdot 10^{-5}$ ) в балках с прямолинейной арматурой на стадии загрузки при совместном действии сил обжатия бетона



а – горизонтальные деформации, б – деформации сдвига

Рисунок 2 – Картина распределения деформаций ( $\epsilon \cdot 10^{-5}$ ) в балках с отогнутой арматурой на стадии нагружения при совместном действии сил обжатия бетона

На основании проведенных расчетно-теоретических исследований установили:

1. На стадии предварительного обжатия в точке перегиба отогнутой арматуры возникает боковая результирующая составляющая в арматуре, влияющая на НДС бетона, особенно в вертикальном направлении, что вызывает появление сдвиговых усилий максимальных в сечении, проходящем через отгиб, и уменьшается с удалением от него.

2. С приложением внешней нагрузки сдвиговые деформации в балках с прямолинейной арматурой возникают только в оппорной зоне (в зоне действия  $M$  и  $V$ ), в балках с отогнутой арматурой деформации сдвига возникают как в опорной, так и в средней частях пролета, причем в средней зоне уменьшается с удалением от зоны отгиба к середине балки.

3. В балках с предварительно напряженной прямолинейной арматурой при обжатии бетона картина распределения горизонтальных и вертикальных деформаций в сечениях по всей длине балок одинаковая. С приложением нагрузки картина распределения соответствует общим правилам работы изгибаемых балок.

4. В балках с отогнутой арматурой закон изменения продольных и поперечных деформаций несколько отличается от балок с прямолинейной арматурой как на стадии обжатия бетона, так и стадии нагружения при совместном действии сил обжатия бетона. В отогнутой арматуре в зоне отгиба продольные и поперечные деформации уменьшаются с приближением к торцу балки.

5. Таким образом, в балках с отогнутой арматурой в зоне отгиба имеет место двухосное напряженное состояние, характеризующееся наличием горизонтальных и вертикальных сжимающих деформаций вплоть до образования первых нормальных трещин в нижней зоне, а по граням этой зоны имеют место сдвигающие деформации, влияющие на характер трещинообразования и механизм разрушения.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Междуетажные перекрытия переменной высоты тепловых и атомных станций / Л.В. Старостин, Л.В. Тритчер, Л.В. Сасонко [и др.] // Бетон и железобетон. – 1986. – № 1 – С. 8-10.
2. Чулак, Н.М. Работа железобетонных балок с отогнутой преднапрягаемой арматурой. Совершенствование строительных конструкций и строительного производства. – Кишинев: Штинца. – 1984. – С. 76-81.

3. Техничко-экономические показатели стропильных балок с отогнутой продольной арматурой / Н.Н. Цыганков, Ю.В. Дмитриев, Л.В. Сасонко [и др.] // Промышленное строительство. – 1970. – № 10 – С. 21-22.

4. Малиновский, В.Н. Сопротивление предварительно напряжённых железобетонных балок из высокопрочного бетона с отогнутой стержневой арматурой при изгибе с поперечной силой: Автореф. дис. на соиск. учёной степени канд. техн. наук. – Л., 1988.

УДК 539.3

Кулик Ю.С.

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

### О ВЕЛИЧИНЕ КОЭФФИЦИЕНТА НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ

**Введение.** При определении в изгибаемых системах потенциальной энергии, работы внутренних сил, перемещений от внутренних нагрузок с учётом влияния поперечных сил в расчёт вводится коэффициент неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе, величина которого определяется выражением:

$$k = \frac{A}{I^2} \int_A \frac{S_{омс}^2}{b^2} dA, \quad (1)$$

где  $A$ ,  $I$  – площадь и момент инерции поперечного сечения элемента;  $b$  – ширина (закон изменения ширины) поперечного сечения;  $S_{омс}$  – статический момент отсечённой части сечения относительно центральной оси.

В известной учебной и справочной литературе [1-23] по строительной механике и сопротивлению материалов значения коэффициента  $k$  приводятся для весьма ограниченного числа сечений – для прямоугольного сечения ( $k = 1,2$ ), для прокатных двутавров (приближённая формула –  $k = A / A_{см}$ , где  $A$  – общая площадь поперечного сечения, а  $A_{см}$  – площадь вертикальной стенки двутавра), для круглого поперечного сечения. Причём в ряде случаев для одинаковых сечений в разных литературных источниках приводятся разные, часто существенно отличающиеся, значения коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений  $k$ . Так, для круглого сечения в работах [1, 4-6, 13, 18, 21, 22] значение коэффициента  $k$  приведено равным  $10/9$ , в [3, 7, 9, 14, 16, 17, 20] –  $k = 32/27$ , в [8, 23] –  $k = 32/37$ . В работе [5] для двутавров (имеется в виду, вероятно, для прокатных двутавров) значение коэффициента  $k$  приведено равным  $3,14$ , в остальных работах для прокатных двутавров приводится приближённая формула  $k = A / A_{см}$ , при вычислении по которой величина  $k$  может существенно отличаться от  $3,14$ . В работах [5, 21] значение  $k$  для тонкостенного кольца приведено равным  $2$ , хотя о том, какое кольцо понимается под тонкостенным, ничего не говорится.

Цель данной работы уточнить значения коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе  $k$  для круглого и двутаврового сечений и получить выражения для определения этого коэффициента, а также его значения для ряда поперечных сечений, не встречающихся в литературе.

Ниже приведены формы рассмотренных сечений и полученные для них выражения и значения коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе.

Кольцевое сечение

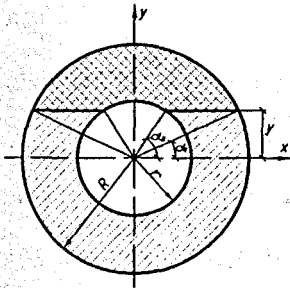


Рисунок 1

$$A = \pi R^2 - \pi r^2 = \pi(R^2 - r^2); \quad I = \frac{\pi R^4}{4} - \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi}{4}(R^4 - r^4);$$

$$dA_1 = b_1 dy_1 = b_1 R \cos \alpha_1 d\alpha_1; \quad dA_2 = b_2 dy_2 = b_2 r \cos \alpha_2 d\alpha_2;$$

$$b_1 = 2R \cos \alpha_1; \quad b_2 = 2(R \cos \alpha_1 - r \cos \alpha_2);$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{y}{R}; \quad \sin \alpha_2 = \frac{y}{r}; \quad \alpha_1 = \arcsin\left(\frac{r}{R} \sin \alpha_2\right);$$

$$S_{\text{омс.1}} = \frac{2}{3} R^3 \cdot \cos^3 \alpha_1;$$

$$S_{\text{омс.2}} = \frac{2}{3} \left( R^3 \cdot \cos^3 \left( \arcsin \left( \frac{r}{R} \sin \alpha_2 \right) \right) - r^3 \cos^3 \alpha_2 \right).$$

Подставив полученные выражения в (1), получим:

$$k = \frac{16}{9\pi} \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^4\right] \left[1 + \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]} \left\{ \pi \left[ \frac{5}{8} + \left(\frac{r}{R}\right)^2 - \frac{5}{4} \left(\frac{r}{R}\right)^4 - \frac{3}{8} \left(\frac{r}{R}\right)^6 \right] + \arcsin \frac{r}{R} \left[ \frac{5}{2} \left(\frac{r}{R}\right)^2 - 2 \left(\frac{r}{R}\right)^4 - \frac{1}{2} \right] + \left[ \frac{1}{16} + \left(\frac{r}{R}\right)^2 - \left(\frac{r}{R}\right)^4 \right] \cdot \sin \left( 2 \arcsin \frac{r}{R} \right) + \frac{1}{8} \left[ 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \right] \cdot \sin \left( 4 \arcsin \frac{r}{R} \right) - \frac{1}{48} \sin \left( 6 \arcsin \frac{r}{R} \right) - \frac{2}{3} \left(\frac{r}{R}\right)^3 \cdot \cos^3 \left( \arcsin \frac{r}{R} \right) \right\}. \quad (2)$$

При  $r = 0$ , т.е. если сечение – круг, то по этой формуле получаем для сплошного круглого сечения  $k = 10/9 \approx 1,1111$ . Для кольцевых сечений при  $r/R = 0,1$  получаем  $k = 1,1191$ ; при  $r/R = 0,5$  получаем  $k = 1,3176$ ; при  $r/R = \sqrt{3}/2 = 0,866$  –  $k = 1,486$ ; при  $r/R = 0,95$  –  $k = 1,498$ , и при  $r/R \rightarrow 1$  получаем, что коэффициент неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе стремится к 1,5.

Круглое сечение со срезанными сегментами

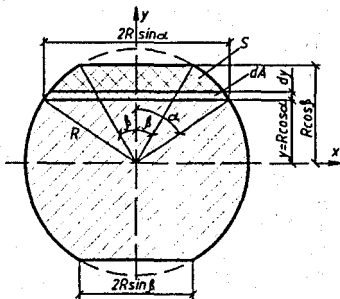


Рисунок 2

$$A = R^2 (\pi - 2(\beta - 0,5 \sin 2\beta)); \quad A_{\text{сеч}} = R^2 (\beta - 0,5 \sin 2\beta);$$

$$y_{\text{сеч}} = \frac{R \sin 2\beta (1 - \cos \beta)}{3(\beta - 0,5 \sin 2\beta)};$$

$$I = \frac{\pi R^4}{4} - \frac{R^2 \sin^2 2\beta (1 - \cos \beta)^2}{9(\beta - 0,5 \sin 2\beta)^2} \cdot R^2 (\beta - 0,5 \sin 2\beta) =$$

$$= R^4 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{2 \sin^2 2\beta (1 - \cos \beta)^2}{9(\beta - 0,5 \sin 2\beta)^2} \right);$$

$$b_y = 2R \sin \alpha; \quad y = R \cos \alpha; \quad dy = R \sin \alpha d\alpha;$$

$$dA = b_y dy = b_y R \sin \alpha d\alpha.$$

Подставив полученные выражения в (1), получим:

$$S_{\text{омс.}} = \frac{R^3 \sin 2\alpha (1 - \cos \alpha)}{3} - \frac{R^3 \sin 2\beta (1 - \cos \beta)}{3} = \frac{R^3}{3} (\sin 2\alpha (1 - \cos \alpha) - \sin 2\beta (1 - \cos \beta));$$

$$k = \frac{256}{9} \times \frac{(\pi - 2\beta + \sin 2\beta)}{(2\pi - 4\beta + \sin 4\beta)^2} \left[ \frac{5(\pi - 2\beta)}{32} + \frac{15 \sin 2\beta}{64} - \frac{3 \sin 4\beta}{64} + \frac{\sin 6\beta}{192} - 2 \sin^3 \left( \cos \beta - \frac{\cos^3 \beta}{3} \right) + \frac{\sin^6 \beta (\pi - 2\beta)}{2} \right]. \quad (3)$$

При  $\beta = 0$  получим круглое поперечное сечение и  $k = 10/9$ . При  $\beta = \pi/6 - k = 1,132$ .

Полое прямоугольное сечение

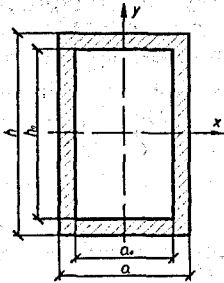


Рис. 3

$$A = ah - a_0h_0; \quad I = \frac{ah^3}{12} - \frac{a_0h_0^3}{12};$$

$$A_{омс.1} = a(h-y); \quad y_{c1}^{омс.} = \frac{h/2 + y}{2} = \frac{h+2y}{4}; \quad b_{y1} = a;$$

$$S_{омс.1} = A_{омс.1} \cdot y_{c1}^{омс.} = a(h-y) \cdot \frac{h+2y}{4};$$

$$A_{омс.2} = (a-a_0)(h_0-y); \quad y_{c2}^{омс.} = \frac{h_0+2y}{4}; \quad b_{y2} = a-a_0;$$

$$S_{омс.2} = A_{омс.2} \cdot y_{c2}^{омс.} = (a-a_0)(h_0-y) \cdot \frac{h_0+2y}{4}; \quad dA = b_y dy;$$

Подставляем эти выражения в (1) и получаем:

$$k = \frac{6 \left(1 - \frac{a_0 h_0}{ah}\right)}{5 \left(1 - \frac{a_0}{a}\right) \left(1 - \frac{a_0 h_0^3}{ah^3}\right)^2} \cdot \left\{ 1 - \frac{a_0}{a} \left[ 1 - \frac{1}{8} \left( \frac{15h_0}{h} - \frac{30h_0^3}{h^3} + \frac{7h_0^5}{h^5} + \frac{8a_0 h_0^5}{ah^5} \right) \right] \right\}. \quad (4)$$

Данное выражение полностью совпадает с полученным для такого же сечения в [10].

Если принять  $a_0 = 0$  и  $h_0 = 0$ , то будем иметь прямоугольное поперечное сечение и по выражению (6) получим  $k = 6/5$ .

Для  $\frac{a_0}{a} = \frac{1}{4}$  и  $\frac{h_0}{h} = \frac{1}{4}$  получим  $k = 1,289$ ; для  $\frac{a_0}{a} = \frac{1}{2}$  и  $\frac{h_0}{h} = \frac{1}{2} - k = 1,548$ , а для

$\frac{a_0}{a} = \frac{h_0}{h} = \frac{9}{10} - k = 1,9603$ .

Двутавровое сечение, состоящее из прямоугольных полос

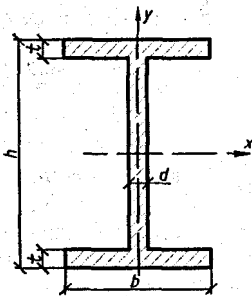


Рис. 4

$$A = 2tb + d(h-2t) = 2tb \left(1 + \frac{d}{b} \left(\frac{h}{2t} - 1\right)\right);$$

$$I = \frac{bh^3}{12} - 2 \left[ \frac{(b-d) \cdot (h-2t)^3}{12} \right] = \frac{bt^3 \left( \frac{h^3}{t^3} - \left(1 - \frac{d}{b}\right) \cdot \left(\frac{h}{t} - 2\right)^3 \right)}{12};$$

$$A_{омс.1} = b \left(\frac{h}{2} - y\right); \quad y_{c1}^{омс.} = \frac{h}{4} - \frac{y}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{h}{2} - y\right); \quad b_{y1} = b; \quad b_{y2} = d;$$

$$S_{омс.1} = A_{омс.1} \cdot y_{c1}^{омс.} = \frac{1}{2} b \left(\frac{h}{2} - y\right)^2; \quad A_{омс.2} = bt + d \left(\frac{h}{2} - t - y\right);$$

$$S_{омс.2} = \frac{1}{2} \left( bt(h-t) + d \left(\frac{h}{2} - t - y\right) \left(\frac{h}{2} - t + y\right) \right); \quad dA = b_y dy.$$

Подставляя полученные выражения в (1), получим:

$$k = \frac{24 \left[ 1 + \frac{d}{b} \left(\frac{h}{2t} - 1\right) \right]}{5 \left[ \frac{h^3}{t^3} - \left(1 - \frac{d}{b}\right) \left(\frac{h}{t} - 2\right)^3 \right]^2} \cdot \left[ 6 - \frac{h}{t} \left(15 - \frac{10h}{t}\right) + \frac{30b}{d} \left(\frac{h}{t} - 1\right)^2 \left(\frac{h}{2t} - 1\right) + 40 \left(\frac{h}{t} - 1\right) \left(\frac{h}{2t} - 1\right)^3 + \frac{16d}{b} \left(\frac{h}{2t} - 1\right)^5 \right]. \quad (5)$$

При  $t = \frac{h}{2}$  будем иметь прямоугольное поперечное сечение, для которого получим  $k = 6/5 = 1,2$ .

Для  $h = 20$  см,  $b = 10$  см,  $t = 0,84$  см и  $d = 0,52$  см, что соответствует прокатному двутавру № 20, по выражению (5) получим  $k = 2,573$ . По формуле  $k \approx \frac{A}{A_{om}}$  для этого же

двутавра будем иметь  $k \approx \frac{26,8}{20 \cdot 0,52} \approx 2,576$ . Аналогично, например, для прокатного двутавра № 40 получим  $k \approx 2,18675$ , для двутавра № 50 –  $k \approx 2,00$ , и т.д.

Заметим, что результаты вычисления коэффициента  $k$  по формуле (5) для двутаврового сечения и по формуле (4) для полого прямоугольного сечения при  $h_0 = h - 2t$  и  $a_0 = a - d$  полностью совпадают.

#### Тавровое сечение

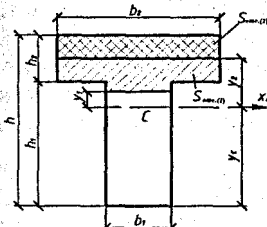


Рис.5

$$A = b_1 h_1 + b_2 h_2; \quad I = \frac{(b_1 h_1^2 - b_2 h_2^2)^2}{12A} + 4b_1 h_1 b_2 h_2 h^2;$$

$$y_C = \frac{h_1}{2} + \frac{b_2 h_2}{2} \frac{h_1}{A}; \quad b_{y1} = b_1; \quad b_{y2} = b_2;$$

$$S_{omc(1)} = b_2 h_2 \left[ (h_1 - y_C) + \frac{h_2}{2} \right] + \frac{b_1}{2} \left[ (h_1 - y_C)^2 - y_1^2 \right];$$

$$S_{omc(2)} = \frac{b_2}{2} \left[ (h - y_C)^2 - y_2^2 \right].$$

Подставляя полученные выражения в (1), получаем:

$$k = 144 \frac{\left(1 + \frac{b_1 h_1}{b_2 h_2}\right)^3}{\left\{ \left[ \frac{b_1}{b_2} \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^2 - 1 \right]^2 - \frac{b_1}{b_2} \frac{h_1}{h_2} \left(1 + \frac{h_1}{h_2}\right)^2 \right\}^2} \cdot \left\{ \frac{b_2 h_1}{b_1 h_2} \left[ \left(\frac{h_1 - y_C}{h_2}\right)^2 + \frac{1}{2} \right]^2 + \frac{h_1}{3h_2} \left(\frac{h_1 - y_C}{h_2} + \frac{1}{2}\right) \right\} \times$$

$$\times \left[ \left(\frac{h_1 - y_C}{h_2}\right) \cdot \left(\frac{2h_1 - y_C}{h_2} - \frac{y_C^2}{h_2^2}\right) + \frac{b_1}{12b_2} \frac{h_1}{h_2} \left(\frac{h_1 - y_C}{h_2}\right)^2 \times \left(\frac{h_1^2}{h_2^2} - \frac{3y_C^2}{h_2^2}\right) + \frac{b_1}{20b_2} \left[ \left(\frac{h_1 - y_C}{h_2}\right)^5 + \left(\frac{y_C}{h_2}\right)^5 \right] + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{4} \left(\frac{h - y_C}{h_2}\right)^4 - \frac{1}{6} \left(\frac{h - y_C}{h_2}\right)^2 \times \left[ \left(\frac{h - y_C}{h_2}\right)^3 - \left(\frac{h_1 - y_C}{h_2}\right)^3 \right] + \frac{1}{20} \left[ \left(\frac{h - y_C}{h_2}\right)^5 - \left(\frac{h_1 - y_C}{h_2}\right)^5 \right] \right\}. \quad (6)$$

При  $b_1 = b_2$ , а также при  $b_1 = 0$ ,  $h_1 = 0$  и при  $b_2 = 0$ ,  $h_2 = 0$ , получаем прямоугольное сечение и  $k = 1,2$ . Для  $b_1 = 2$  см,  $h_1 = 7$  см;  $b_2 = 8,75$  см,  $h_2 = 2$  см коэффициент  $k$  получаем равным 1,83265, а для  $b_1 = 1$  см,  $h_1 = 12$  см;  $b_2 = 4$  см,  $h_2 = 6$  см –  $k = 1,8$ .

**Заключение.** Анализируя представленные выше результаты, можно утверждать, что, действительно, величина коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе для простых сечений зависит только от формы поперечных сечений, что отмечается во многих работах [2,4,11,12,14,15], и является для каждой из таких форм сечений постоянной величиной, равной: для прямоугольного и треугольного сечений –  $k = 1,2$ ; для круглого сечения –  $k = 10/9$ ; для полукруглого сечения –  $k = 1,1617$ ; для правильного шести-угольного сечения –  $k = 1,1097$ ; для ромбического сечения –  $k = 31/30$ ; для трапециевидального сечения –  $k \approx 1,2$ .

Для сложных сечений, состоящих из нескольких простых фигур, таких как двутавровое, тавровое, полое прямоугольное, полое ромбическое, кольцевое, круглое со срезанными сегментами и т.п., величина коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе  $k$  зависит от соотношений размеров простых фигур, составляющих такие сечения.

В работе получены выражения для вычисления коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе для двутаврового (4), таврового (5), поллого прямоугольного (3), круглого со срезанными сегментами (2) и кольцевого (1) сечения.

Заметим, что если для сложных сечений под сечениями определённой формы понимать такие, для которых при изменении размеров сечений остаются неизменными соотношения между размерами составляющих их простых фигур, а при изменении этих соотношений считать, что изменяется форма сечений, то можно говорить, что и для сложных сечений величина коэффициента неравномерности распределения касательных напряжений при изгибе зависит только от формы поперечных сечений. Для каждого из таких сечений определённой формы независимо от их размеров, величина коэффициента  $k$  будет константой, значение которой несложно определить по представленным выше выражениям, подставив в них соответствующие заданной форме сечения соотношения между размерами простых элементов.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беляев, Н.М. Соппротивление материалов / Н.М. Беляев. – Москва: Гостехиздат, 1965. – 856 с.
2. Бурчаков, Ю.И. Строительная механика / Ю.И. Бурчаков, В.Е. Гнедин, В.М. Денисов. – Москва: Высшая школа, 1983. – 255 с.
3. Дарков, А.В. Статика сооружений / А.В. Дарков, В.П. Кузнецов. – Москва: Трансжелдориздат, 1951. – 530 с.
4. Дарков, А.В. Соппротивление материалов / А.В. Дарков, Г.С. Широ. – Москва: Высшая школа, 1969. – 734 с.
5. Долинский, Ф.В. Краткий курс сопротивления материалов / Ф.В. Долинский, М.Н. Михайлов. – Москва: Высшая школа, 1969. – 432 с.
6. Ицкович, Г.М. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов / Г.М. Ицкович, А.И. Винокуров, Л.С. Минин. – Москва: Высшая школа, 1970. – 544 с.
7. Киселов, В.А. Строительная механика. Общий курс / А.В. Киселов. – Москва: Стройиздат, 1986. – 520 с.
8. Мухин, Н.В. Статика сооружений / Н.В. Мухин, А.Н. Першин, Б.А. Шишман. – Москва: Высшая школа, 1980. – 343 с.
9. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов / И.Н. Миролюбов [и др.]. – Москва: Высшая школа, 1985. – 399 с.
10. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов / И.Н. Миролюбов [и др.]. – Москва: Высшая школа, 1969. – 482 с.
11. Рабинович, И.М. Курс строительной механики стержневых систем: в 2 ч. – т. II: Статически неопределимые системы. – Москва: Госстройиздат, 1954. – 392 с.
12. Ржаницын, А.Р. Строительная механика / А.Р. Ржаницын. – Москва: Высшая школа, 1991. – 438 с.
13. Рудицын, М.Н. Справочное пособие по сопротивлению материалов / М.Н. Рудицын, П.Я. Артемов, М.И. Любошиц. – Минск: Высшая школа, 1970. – 628 с.



14. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (статика стержневых систем) / Под ред. Г.К. Клейна. – Москва: Высшая школа, 1980. – 318 с.
15. Снитко, Н.К. Строительная механика. – Москва: Высшая школа, 1980. – 431 с.
16. Сопротивление материалов / Под ред. Г.С. Пасаренко. – Киев: Вища шк., 1986. – 775 с.
17. Справочник проектировщика промышленных, жилых, общественных зданий и сооружений. Расчётно-теоретический: в 2 кн. / Под ред. А.А. Уманского – Москва: Стройиздат, 1977. – 415 с.
18. Строительная механика / Под ред. А.В. Даркова. – Москва: Высшая шк., 1976. – 600 с.
19. Строительная механика летательных аппаратов / Под ред. И.Ф. Образцова. – Москва: Машино-строение, 1986. – 536 с.
20. Тимко, И.А. Статика сооружений. – Харьков: Издательство Харьковского университета, 1969. – 372 с.
21. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов. – Москва: Наука, 1979. – 559 с.
22. Фесик, С. П. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Будівельник, 1982. – 280 с.
23. Шишман, Б.А. Статика сооружений / Б.А Шишман. – М.: Стройиздат, 1988. – 384 с.

УДК 727.113:721.011.12(476)

*Кусова Ю.Л.*

*Научный руководитель: доцент Власюк Н.Н.*

### **СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННО-КОММУНИКАЦИОННОГО ЦЕНТРА ПЛАНИРОВОЧНОГО РАЙОНА ГОРОДА**

Что объединяет группу архитектурных объектов в живой город? Мосты и путепроводы, которые горожане иногда не замечают. Если любой крупный современный город, такой как Брест, лишит действующих мостов и транспортных развязок, то он распадется на десятки труднодоступных сухопутных «островков».

Любой автомобилист подтвердит, что города задыхаются от транспортных проблем. Машин на улицах становится все больше, транспортные потоки – все плотнее, уличные пробки возникают все чаще. Если бездействовать, то вскоре мы столкнемся со всеми прелестями транспортных проблем, от которых страдают жители многих крупных городов-мегаполисов. Поэтому, например, в Минске поставлена задача в ближайшие годы построить как минимум восемнадцать современных многоуровневых общественно-коммуникационных центров, для десяти из которых уже существуют архитектурные решения.

Строительство общественно-коммуникационных центров вызвано необходимостью разгрузки центральной части городов, которые в настоящее время страдают от постоянных автомобильных пробок.

Перед началом проектирования должен быть представлен анализ исходного состояния окружающей среды: результаты химического анализа почв, измерение фоновых уровней шума, радиационное обследование, определение фоновых концентраций загрязняющих веществ в воздухе. Выполнены расчеты по загрязнению почвы свинцом, загрязнению атмосферного воздуха, расчет уровней шумового воздействия, количество транспорта в единицу времени на текущий момент и в перспективе развития города.

При проектировании общественно-коммуникационных центров республиканского, регионального, городского, районного значения приходится решать важные градостроительные задачи. К ним относятся: улучшение условий транспортной доступности, сокращение структурно-транспортных противоречий между транспортом и городской средой, охрана природных ресурсов, экономия энергии и финансовых средств. Для общественно-коммуникационных центров необходимо предусматривать максимальное разграничение транспортных и пешеходных потоков по главным и относительно второстепенным направлениям, обеспечение пешеходной доступности всех сооружений и объектов центра с учетом специфики маломобильной группы населения (инвалиды, престарелые, пассажиры с детьми и др.).

Транспортно-планировочная и пространственная организация общественно-коммуникационных центров определяется несколькими факторами: числом взаимодействующих видов транспорта, размещением станций, остановочных пунктов, линий, путей и других транспортных сооружений и устройств, коммуникационных элементов, а также размещением узла в архитектурно – планировочной структуре города.

В современных городах происходит функциональное насыщение близлежащих зон общественно-коммуникационных центров в радиусах массовой пешеходной доступности до 1000 м, что приводит к образованию *многофункциональных пространственно развитых общественно-коммуникационных центров или узлов*. Пространственное объединение различных видов и форм обслуживания на территории, непосредственно примыкающей к общественно-коммуникационным центрам, или их включение в транспортные объекты способствует комплексному освоению городской территории, высокому уровню ее благоустройства и инженерного оснащения, повышает доступность городских объектов для посещения населением в целом, в том числе инвалидами. Тесная взаимосвязь общественно-коммуникационных центров с прилегающей территорией и застройкой повышает ценность окружающего их городского пространства, что требует обоснованного подхода к функциональному насыщению этой территории, ее рациональной планировочной организации и интенсификации использования, учета требования создания безбарьерной среды жизнедеятельности для инвалидов.

Насыщение транспортными и общественными функциями близлежащих зон общественно-коммуникационных центров приводит к образованию *многофункциональных пространственно развитых центров*.

Практика проектирования и строительства общественно-коммуникационных центров в нашей стране и за рубежом показывает большое разнообразие их структурных характеристик по местоположению, особенностям транспортной зоны, насыщению объектами обслуживания, площади участка и застройки, использованию подземного пространства, архитектурно-конструктивными решениями.

Важными предпосылками преобразования и улучшения архитектурно-пространственной среды города являются интенсификация использования его территорий путем упорядочения функционального зонирования, эффективности использования уже освоенных городских земель.

Упорядочение структуры общественно-коммуникационных центров требует проработки функционального зонирования территории, размещения объектов культурно-бытового обслуживания и решения задач городского транспорта.

Объемно-планировочные решения, принимаемые при проектировании общественно-коммуникационного центра планировочного района города, должны соответствовать общим градостроительным требованиям, включая следующие:

- функционально-пространственная организация общественно-коммуникационных центров должна способствовать активным связям с прилегающими территориями, установлению относительно подвижных границ с учетом перспективного изменения как состава основных элементов, так и характера связей между ними;

- архитектурно-художественная организация пространства общественно-коммуникационных центров должна отвечать требованиям композиционной целостности, эстетической выразительности архитектурных ансамблей, градостроительного комплекса при сохранении национальных традиций и историко-культурных особенностей данного региона.

Основополагающими критериями являются сбалансированность объемно-пространственной организации общественно-коммуникационных центров, а также безопасность и соблюдение норм оздоровления окружающей среды.

Следует предусматривать целесообразное объединение в одном объеме либо блокировку близких по функциям объектов управления, культуры и отдыха, торговли, питания, спорта и др., формируя таким образом блоки специализированных объектов, а также перспективное развитие отдельных составляющих элементов или блоков на всех стадиях проектирования.

В зависимости от объемно-планировочного решения общественно-коммуникационного центра блоки составляющих элементов могут представлять группу блоков:

- а) обособленные на одной территории;
- б) объединенные подземными и наземными коммуникациями;
- в) как единое сооружение (или кооперированных в одно здание).

На концентрирование блоков влияют конкретные градостроительные условия, в зависимости от которых предприятия, учреждения и другие элементы центра могут располагаться обособленно, объединяться или кооперироваться. При этом необходимо учитывать адаптацию зданий и сооружений центра к изменяющимся условиям (применение большепролетных конструкций, независимой системы коммуникационных связей и т.д.), позволяющую рассматривать общественно-транспортный центр как открытую и гибкую структуру, способную развиваться во всех направлениях.

Обособленные блоки общественно-коммуникационного центра могут быть объединены с помощью подземных и наземных коммуникаций, обеспечивающих беспрепятственный проход пешеходов, проезд транспортных средств, включая скоростной. К коммуникационным сооружениям и устройствам центра относятся:

- подземные переходы, галереи с устройством пандусов и движущихся тротуаров, наклонных подъемников и т.д.;

- наземные крытые переходы с регулируемым климатом, «воздушные мосты», соединяющие здания, сооружения на разных уровнях. Наземные галереи, переходы над проездами должны иметь отметку низа конструкции не менее 5,0 м, а над полотном железной дороги – не менее 7,0 м;

- сооружения, обеспечивающие коммуникативные связи по вертикали: лифты, в том числе выжимные, эскалаторы, подъемники всевозможных модификаций и т.д. Лифты, эскалаторы, подъемники могут иметь наземные вестибюли, иногда остекленные.

Для исключения многообразия функционально-технологических схем целесообразно выявить закономерности, наиболее характерные для технологических процессов общественно-коммуникационных центров с тем, чтобы на основе этих закономерностей раз-

работать типовые объемно-планировочные решения. Допустимость и целесообразность создания объединенных общественно-коммуникационных комплексов должны быть установлены рядом дополнительных исследований.

Общественно-коммуникационные центры нередко являются городскими мегаструктурами, охватывающими большие городские территории и представляющие собой категорию урбанистического дизайна, где воплощается идея создания гармоничной среды для человека.

В условиях реконструкции сложившейся застройки предлагается планировочное решение общественно-коммуникационного центра в г. Бресте по ул. Гоголя – Дворцовая – Я. Купалы.



Рисунок 1 – Фрагмент генплана города, утвержденный в 2008 г.

Общественно-коммуникационный центр по ул. Гоголя – Дворцовая – Я. Купалы в г. Бресте должен выполнять важнейшую роль в общей схеме развития автодорог города. Создание комплекса связано не только со сложными техническими, но и экологическими проблемами. Последние обусловлены тем, что объект расположен в центре города, и непосредственно вторгается в жилую зону.

Основная идея проекта – создание общественно-коммуникационного центра, где предлагается кооперирование сооружений транспорта и общественных учреждений, которое создает дополнительные резервы экономии площади городской территории и возможность объединения в единый ансамбль административных зданий, сооружений транспорта, зрелищных зданий и будет способствовать полифункциональному характеру застройки и соответствовать генеральному плану города в части развития его транспортно-пешеходной схемы.

Многофункциональный комплекс воспроизводит в своем образе город с ярусами разновысокой – торговой, развлекательной, офисной – застройки, включающий в себя имеющую важное для города значение транспортную развязку.

Планируется создать транспортный узел, в который будет входить остановка наземного общественного транспорта, автобусов и маршрутного такси (автолайн), парковка для автобусов дальнего следования, здание железнодорожной станции Брест-Полесский, многоуровневые парковки для легкового автотранспорта, перед каждым зданием предусматривается возможность небольшой наземной буферной парковки и drop-off – выгрузка пассажиров перед входом в здания.

Многофункциональный общественно-коммуникационный центр представит собой комплексную застройку территории, включающую следующие объекты:

1. ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: здание торгового центра с многоуровневым паркингом, развлекательный комплекс.
2. БИЗНЕС-ЦЕНТР: офисное пространство и конгресс-центр.
3. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ СТАНЦИЯ
4. ТРАНСПОРТНЫЕ КОММУНИКАЦИИ и автотранспортные объекты как главные элементы комплекса.

Дороги города уже не справляются с возрастающим потоком автотранспорта. Необходимо вывести часть потока транспорта с проспекта Машерова. Тем самым решится сразу несколько проблем: снижается поток автотранспорта на центральных улицах города, уменьшается количество пробок и заторов, и снижаются выбросы вредных веществ от автотранспорта в атмосферу жилой застройки.

С экологической и гигиенической точек зрения, проблема транспортного шума и проблема загрязнения окружающей среды при эксплуатации транспортной развязки являются одной из самых острых, поскольку дорога будет проходить в непосредственной близости к жилой застройке. Такие условия предопределяют необходимость тщательного исследования фактических и прогнозируемых акустических условий на прилегающих территориях. Учитывая значимость этой проблемы, на стадии архитектурного проектирования должны предусматриваться мероприятия по снижению вредного воздействия этих факторов.

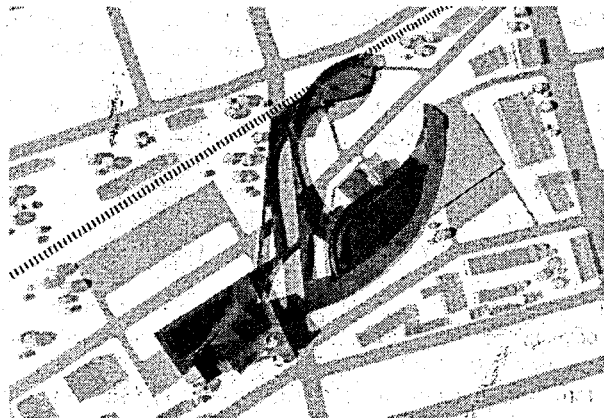


Рисунок 2 – Генплан застройки общественно-коммуникационного центра

Таким образом, мы видим, что строительство и модернизацию общественно-коммуникационных центров в силу реальной возможности решения ряда остроактуальных проблем города (повышения качества и разнообразия форм обслуживания за счет насыщения общественной зоны центра, улучшения экологии городской среды, экономии городской территории, возможности сокращения сроков инвестиционного цикла, решения транспортных проблем и др.) возможно отнести к объектам первоочередного инвестирования и строительства.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мосты и трубы: СНиП 3.06.04-91.
2. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений: СНиП 2.07.01-89\*.
3. 5. Агасьянц, А.А. Структурно-планировочная организация транспортных систем взаимосвязанного расселения: Обзорная информация / А.А. Агасьянц, Г.Л. Каплан // Проблемы больших городов, вып. 23. – М.: МГЦНТИ, 1985.
4. Азаренкова, З.В. Общественно-транспортные центры в современных градостроительных условиях / З.В. Азаренкова, Л.Н. Степанова // Транспорт (Наука, техника и управление). – № 12. – М.: ВНИТИ, 1995.
5. Голубев Г.Е. Развитие систем транспортных сооружений и узлов в крупнейших и крупных городах: Обзорная информация / Г.Е. Голубев, З.В. Азаренкова [и др.]. – М.: ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре, 1985.

УДК 531.8(075), 681.3.06

*Леванович А. В.*

*Научный руководитель: доцент Бьков В. Л.*

## РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМОГО СТУПЕНЧАТОГО БРУСА

В последнее время с целью интенсификации обучения студентов на базе современной вычислительной техники все большее внимание уделяется вопросам разработки и внедрения обучающе-контролирующих программ по различным разделам технических дисциплин.

В рамках выполнения курсовых работ мной была предложена тема "Расчет статически определимого ступенчатого бруса". Данный расчет выполняется студентами на первом курсе при изучении дисциплины "Теоретическая механика". Целью моих исследований является изучение принципов построения обучающе-контролирующих программ и разработка компьютерной программы для реализации поставленной задачи. Программа разрабатывалась в течение двух лет. Дважды докладывалась на студенческих научно-технических конференциях.

Программа имеет два режима работы: режим обучения и режим контроля.

В режиме обучения студент имеет возможность самостоятельно вводить данные, производить расчеты с помощью программы и просматривать все результаты расчета и элкры. Кроме того, в этом режиме имеется возможность просмотреть готовые примеры. Примеры хранятся в папке и могут добавляться в процессе работы. Имеется справочная система, в которой приведен пример расчета статически нагруженного ступенчатого бруса. То есть студент, пользуясь справкой, может самостоятельно проводить расчеты и сравнивать получаемые результаты с расчетами, выполненными программой.

В режиме контроля загружается база данных, и преподаватель может проверить результаты расчетов, выполненные студентом по заданному варианту, с расчетами, выполненными программой.

При запуске программы открывается окно диалога, в котором пользователю предоставляется возможность выбрать режим работы: "Расчет" или "Загрузка базы данных". При выборе режима "Расчет" открывается окно диалога (рис. 1).

Главное меню содержит пункты Файл, Вид, Приложения, Справка. Слева расположена панель инструментов, на которой расположены кнопки, дублирующие основные команды меню. Перечислим эти кнопки последовательно сверху вниз.

Кнопка "Открыть" – позволяет загрузить пример нагруженного бруса с диска (файл с расширением .TXT).

Кнопка "Сохранить" – позволяет сохранить пример нагруженного бруса на диске по выбранному маршруту.

Кнопка "Справка о программе" вызывает справочную систему, которая содержит справку об авторе и методические указания по работе с программой в режиме расчета и в режиме загрузки базы данных.

Кнопка "Методичка" вызывает методичку по расчету статически нагруженного ступенчатого бруса [1].

Кнопка "Калькулятор" позволяет пользователю вызвать, при необходимости, калькулятор для проведения нужных несложных расчетов.

Кнопка "Конвектор" – предназначена для перевода единиц измерения. По умолчанию установлены единицы измерения длины, площади и силы в системе СИ (метр, кв. метр, ласкаль).

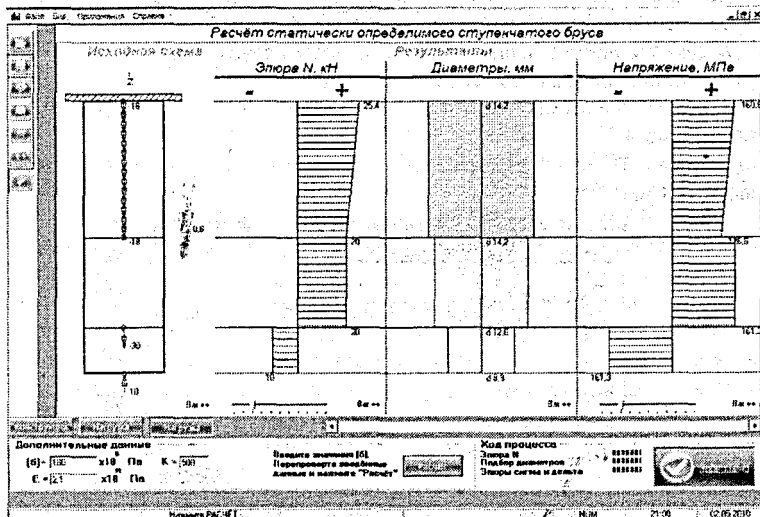


Рисунок 1 – Режим "Расчет" с примером расчета

В центральной части экрана расположены окна для построения исходной схемы нагрузок бруса и эпюр продольных сил, напряжений и перемещений, а также результатов вычислений. Часть эпюр и результаты вычислений не умещаются на экране монитора. Для их просмотра имеется горизонтальная линейка прокрутки, расположенная под панелями.

Ниже панелей эпюр расположена панель управления. На ней расположены три кнопки для управления вводом данных и дополнительная информация, позволяющая сделать интерфейс дружелюбным для пользователя. Кнопка "Конструкция" – служит для выбора положения опоры: с верхней или с нижней привязкой; кнопка "Нагрузка" предна-

значена – для ввода нагрузок. Нагрузки вводятся последовательно со свободного конца бруса. Для распределенной нагрузки указывается две точки привязки. При этом, независимо от положения опоры, вначале указывается верхняя точка привязки, а затем нижняя точка привязки. Кнопка "Дополнить" служит для ввода дополнительных данных и записи (удаления) введенной нагрузки в оперативную память компьютера. Коэффициент К позволяет изменить масштабный коэффициент введенных нагрузок в случае, если при введенных данных брус разрушается.

После ввода данных для проведения расчетов и построения эпюр следует нажать кнопку "Расчет" на панели управления.

Режим "Загрузка Базы данных" защищен паролем. При выборе пользователем данного режима открывается окно диалога, представленное на рис. 2. В верхней части окна диалога расположена сетка с вертикальной линейкой прокрутки, позволяющей просмотреть варианты силовых нагрузок (11 вариантов). При вводе в окно "Вариант" силовых нагрузок номера выбранного варианта данные варианта выводятся в окна ввода, расположенные под сеткой. В вариантах предусмотрена возможность ввода двух сосредоточенных сил и двух распределенных нагрузок и расстояния до точек привязки.

После выбора варианта силовых нагрузок выбирается вариант бруса. В базе данных предусмотрено 6 вариантов распределения нагрузок бруса. Данные о выбранном варианте бруса выводятся в соответствующую строку окон ввода. Первая группа цифр содержит сведения: о номере варианта (3); конструкции бруса: с нижним закреплением (0) или верхним закреплением (1), и числе нагрузок (3).

Далее следуют три группы по пять позиций – характеристики нагрузок:

- номер нагрузки;
- вид нагрузки: 1 – сила, действующая в точку, 2 – сила, действующая из точки, 3 – распределенная нагрузка;

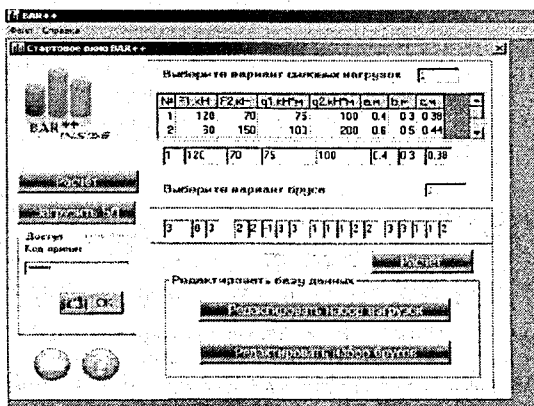


Рисунок 2 – Работа в режиме загрузки базы данных

- знак силы: положительная – "1" или отрицательная – "-1";
- точки привязки. У сосредоточенных нагрузок имеется одна точка привязки – четвертая позиция, значения которой дублируются в пятой позиции. У распределенной нагрузки две точки привязки различные и указаны в четвертой и пятой позициях.



При необходимости, имеется возможность отредактировать силовые нагрузки или вариант бруса.

Для завершения операции выбора варианта и проведения расчета следует щелкнуть мышью по кнопке "Расчет".

Пример расчета бруса приведен на рис.1.

Разработанная программа проверена по всем вариантам, заложенным в базу данных и по типовым примерам. Программа может быть рекомендована для использования в учебном процессе при изучении студентами соответствующих разделов теоретической механики.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методические указания по дисциплине "Механика материалов". – Брест: БрГТУ, 2004.

УДК [72.574](063)

*Малей Е.С.*

*Научный руководитель: ст. преподаватель Панченко Т.А.*

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АРХИТЕКТУРА

Архитектура – это искусство, но она сильно отличается от других видов (таких как скульптура, живопись, литература). Она в отличие от них призвана не только вызывать эмоции у человека, а обеспечить ему кров. Основное назначение жилого дома состоит в том, чтобы защитить его обитателей от холода, дождя, снега, жгучего солнца, то есть обеспечить необходимый энергетический комфорт, создавая благоприятный для человека тепловой, световой и акустический режим. Человек чувствует себя в помещении комфортно в том случае, если его жизнедеятельности ничего не мешает, а наоборот способствует. В наше время технологий люди стали очень зависимы от энергии, и чем больше развивается цивилизация, тем жестче становятся требования к уровню энергетического комфорта, тем больше нужно затрачивать энергии для его достижения.

Во всех энергетических установках мира за сутки сжигается столько органического топлива, сколько природа в состоянии синтезировать тысячу лет. Причем сжигается и выбрасывается в атмосферу в виде отходов. Потребление энергии постоянно растет, а процесс расходования ископаемых ресурсов Земли давно уже принял невосполнимые масштабы.

Беларусь не располагает собственными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР). Лишь 15% собственных ТЭР покрывают потребности страны, остальные 85% импортируются – в основном из России. В последние годы традиционные энергоносители становятся все более дорогими, наблюдается постоянный рост цен. Этот рост будет иметь место и далее до достижения мировых цен, а использование альтернативных становится все дешевле. В связи с этим для Беларуси чрезвычайно важно включать в топливно-энергетический баланс вторичные энергоресурсы и возобновляемые источники энергии. И можно говорить о перспективах их массового применения.

Независимо от того, как добывается энергия, важным является, конечно, не только ее получение, но и сохранение, разумное использование. Что может быть достигнуто использованием более усовершенствованных строительных материалов.

Основным преимуществом возобновляемых источников является их экологическая чистота и неограниченность. Энергии солнца, ветра, геотермальной и приливной энергии хватит еще надолго в отличие от запасов нефти и газа.

В своей работе я хочу на примерах зарубежного опыта доказать возможность эффективного применения альтернативных источников энергии в строительстве Беларуси. На сегодняшний день альтернативная энергетика развивается очень быстро и помимо известных всем установок и приспособлений, таких как солнечные батареи, коллекторы и ветряки, существует ряд новых разработок, способных удовлетворить не только энергетические требования, но и эстетические, и экономические. Ведь одним из самых больших недостатков альтернативных источников является их стоимость. Мне бы хотелось заострить внимание на последних разработках в этой области. Благодаря развитию технологий солнечные батареи могут применяться не только в виде отдельных панелей, как все привыкли их видеть, но и в виде встроенных элементов. Пример тому – солнечные батареи для мембранных кровель (рис. 1). А самыми инновационными, на мой взгляд, сегодня являются стеклянные панели со встроенными солнечными батареями (рис. 2). В них используется специальное стекло, которое может производить электричество точно так же, как и солнечные батареи.



Рисунок 3



Рисунок 4

Примером нестандартного применения ветряных установок может служить проект студента Аризонского государственного университета. Было предложено использовать силу ветрового потока от машин, едущих по скоростным трассам (рис. 3).

Если говорить об эстетике, то альтернативные источники могут способствовать развитию средового дизайна. Примером может послужить проект «цветок будущего» английских инженеров в рамках программы по развитию альтернативной энергетики (рис. 4).



Рисунок 5

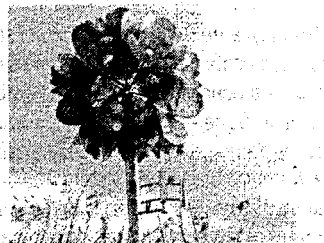


Рисунок 6

Важным является способ применения альтернативных источников энергии. Конечно, на основе этих технологий могут быть построены тепло и электростанции, но для меня

большой интерес вызывают здания и проекты зданий и сооружений, которые не потребляют энергию от внешних сетей или используют совсем незначительную её часть и при этом являются экологически чистыми. Это очень важно как для больших сооружений, так и для маленьких. Их строительство возможно и будет дорогостоящим, но за счет низких энергозатрат и способности не зависеть от внешних источников стоимость их эксплуатации будет крайне небольшой. Примеров тому много, и выделить что-то одно главное сложно. Подтверждением этого может служить небольшой частный коттедж и небоскреб как доказательство возможного широкого применения альтернативных источников энергии.

В качестве примера небольшого здания может послужить проект британской компании. Компания спроектировала здание, существующее на полном самообеспечении за счёт природных ресурсов (рис. 5; рис. 6).

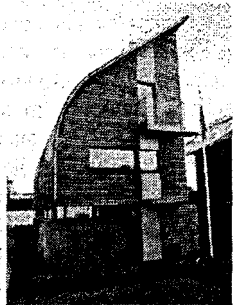


Рисунок 7

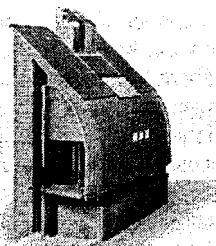


Рисунок 8

Это – дом будущего, построенный с применением экологически-безопасных технологий, которые обеспечивают абсолютное отсутствие выбросов. В проекте использованы экологически чистые материалы, улучшенная изоляция и система кондиционирования. Самообеспечение осуществляется за счет использования солнечных батарей, переработки дождевой воды для технических нужд, отопительной системы на биомассе. Проект комбинирует практичность и изысканный дизайн.

В качестве примера большого сооружения может выступить небоскреб «Башня 'Жемчужная река'» (рис. 7).

300-метровая 69-этажная «Башня 'Жемчужная река'» задумана как здание нулевой энергии, то есть оно не будет потреблять электричество из внешней сети.

Солнце и ветер пустыни обычно формируют дюны. Плавные формы «Жемчужной реки» их как раз и напоминают. В здании выполнено специальное двойное остекление южного фасада (с вентиляцией между стёкол), способствующее снижению нагрева здания. В здании планируется установить автоматические жалюзи, поворачивающиеся на нужный угол по мере путешествия солнца по небу, а также – открывающиеся в пасмурную погоду для увеличения естественного освещения офисов. Всё это снизит затраты на кондиционирование. Нашлось тут место и для рядов солнечных



Рисунок 7

батарей, поставляющих электричество в аккумуляторы здания. А кроме фотоэлектрических панелей здесь смонтированы и солнечные тепловые коллекторы, нагревающие воду для обитателей небоскрёба.

В пользу использования альтернативных источников энергии и развития этой сферы говорит ряд причин. Некоторые из них глобальные, как изменение климата, а некоторые более частные, такие как отсутствие запаса энергоресурсов. Состояние экономики любых государств во многом определяется эффективностью использования топливно-энергетических ресурсов, при этом особую актуальность это приобретает для стран, отрасли экономики которых в больших объемах используют импортируемые энергоресурсы, что в полной мере относится к Беларуси. По результатам за 2002 г. обеспеченность местными энергоресурсами составила 16,3%, все остальное за счет импорта. Такое соотношение импортируемых и местных энергоресурсов негативно сказывается на состоянии энергетической безопасности государства. Чтобы как-то себя обезопасить, энергосбережение было определено приоритетом государственной политики в решении энергетической проблемы в Республике Беларусь. Но эта мера помогает облегчить, но не решить проблему. Как известно, в Беларуси планируется построить атомную электростанцию. В последнее время ведется много споров о «мирном атоме». Существует ряд весомых причин, чтобы от него отказаться: при работе атомной электростанции вырабатывается большое количество радиоактивных отходов, которые до сих пор не научились утилизировать. Аварии на атомных электростанциях приводят к попаданию радиоактивных веществ в окружающую среду. На сегодняшний день самая значительная из них произошла в 1986 году в Чернобыле, последствия которой жители Беларуси ощущают по сей день и будут ощущать еще долго.

Существует мнение, что развитие альтернативной энергетики невыгодно и бесперспективно для Беларуси, из-за низкого природного потенциала. Но ряд исследований, проведенных в последнее десятилетие, доказывают обратное.

Для нашей страны жизненно важно развивать сферу альтернативной энергетики и применять её на массовом и индивидуальном строительстве. Хотя строительство электростанции на основе альтернативных источников для Беларуси экономически невыгодно, но возможно.

Вопрос развития альтернативных источников энергии в Беларуси очень актуален на сегодняшний день. Так эта сфера развита совсем незначительно, а её развитие и грамотное применение может принести большой вклад в экономику, экологию и сохранение природных ресурсов, а так же обезопасить страну в энергетическом плане. В Беларуси уже есть позитивный опыт строительства небольших эко-домов, который стоит развивать. А так же разрабатывать и проектировать жилые здания и здания массового – культурного назначения с применением эко-технологий.

В своей работе я описала не весь спектр возможностей альтернативной энергетики, а лишь ту часть которая мало развита или связана непосредственно со строительством. И нуждается в дальнейших разработках.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Интернет-ресурс: <http://reenergy.by>
2. Интернет-ресурс: [www.technopark.by](http://www.technopark.by)
3. Интернет-ресурс: <http://ctoday.ru>
4. Интернет-ресурс: <http://ru.wikipedia.org>

5. Интернет-ресурс: <http://www.archnewsnow.com>
6. Интернет-ресурс: <http://www.membrana.ru>
7. Интернет-ресурс: <http://www.novate.ru>
8. Интернет-ресурс: <http://www.romsesarchitects.com/>
9. Интернет-ресурс: <http://www.architecture.uwaterloo.ca>
10. Интернет-ресурс: <http://www.vincent.callebaut.org/>
11. Интернет-ресурс: <http://www.inhabitat.com>
12. Интернет-ресурс: <http://www.arhinovosti.ru/>
13. Доклад DLR, Institute of Technical Thermodynamics, Department of Systems Analysis and Technology Assessment, Stuttgart, Germany: Dr.Wolfram Krewitt, Sonja Simon, Stefan Kronshage
14. Интернет-ресурс: <http://energoeffekt.gov.by>

УДК 69.057.4 (088.8)

*Мартысюк В.С., Харитонович Д.А.*

*Научные руководители: доцент Пчелин В.Н., доцент Юськович В.И.*

### **НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ УЗЛОВ СТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОВОДКОВЫМИ ВТУЛКАМИ**

Научно-технический прогресс в области металлоконструкций покрытия зданий и сооружений связан с поисками новых типов конструкций, совершенствованием уже известных, определением их оптимальных параметров, поиском новых геометрических форм, отвечающих наилучшему их использованию, совершенствованием методов их расчета.

В повышении индустриальности строительства важнейшее место отводится внедрению легких металлических конструкций.

Дальнейшее совершенствование процессов проектирования, производства, комплексной поставки и монтажа легких металлических конструкций зданий общественного назначения требует сочетания оптимальных показателей массы с минимальной трудоемкостью механизированного поточного изготовления. Стремление сочетать эти факторы делают рациональным применение пространственных конструкций, в основе которых лежат оптимальные многократно повторяющиеся элементы из наиболее эффективных тонкостенных трубчатых профилей. Поиски интересных архитектурных форм большой выразительности и универсальности, образуемых на основе неоднократно повторяющихся элементов, привели к созданию стержневых систем нового типа – структур. Структурные конструкции относятся к широкому классу пространственных решетчатых шарнирно-стержневых металлических конструкций, из которых наибольшее распространение получили структурные плиты.

Структурные конструкции представляют собой пространственно-стержневые конструкции, состоящие из верхней и нижней поясных сеток, соединенных между собой в узлах раскосной решеткой.

При проектировании и возведении структурных покрытий зданий общественного и производственного назначения чаще используются комбинированные узловые соединения, в которых сочетаются как сварные, так и болтовые соединения; при этом сварка выполняется в заводских условиях, а сборка – в построечных на болтах.

Ярким представителем комбинированного узлового соединения является изображенный на рис.1 узел «Меро» [1]. Узловой элемент этого типа представляет собой стальной многогранник, близкий по форме к шару, с отверстиями, на стенках которых имеется резьба. Для соединения с узловым элементом на конце стержневого элемента устраивается конический наконечник с вставным болтом со штифтом и поводковой втулкой. Вращением втулки болт ввинчивается в отверстие шара, при этом исключается вращение присоединяемого элемента.

Положительными достоинствами этого узлового решения являются: универсальность, т.е. возможность применения при любых стержневых схемах; компактность; сравнительно небольшая трудоемкость при монтаже; возможность создания сборно-разборных конструкций; эстетичность.

Недостатками узла «Меро» являются высокие требования к допускам на отклонения линейных размеров элементов. Конструкция узлов не допускает наличия зазоров между соединяемыми элементами. Такие зазоры могут возникнуть при сборке конструкции из-за отклонений размеров стержней и узловых элементов, возникающих при изготовлении. Для обеспечения качества структурной конструкции требуется сложная станочная обработка, а также жесткий контроль при приемке отправочных элементов. Это вызывает удорожание конструкции при изготовлении. Кроме того, наличие отверстий в болтах и прорезей – в поводковых гайках существенно снижает прочность болтов и поводковых гаек и не обеспечивает защиту болтов от внешних воздействий (прежде всего от проникновения влаги).

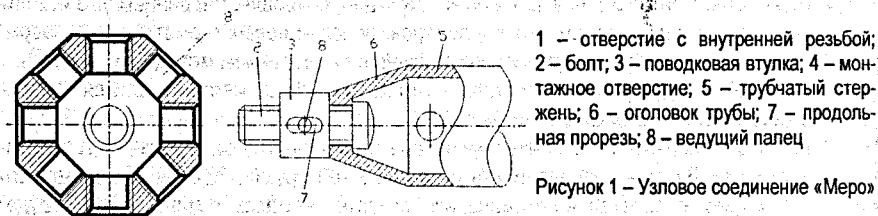


Рисунок 1 – Узловое соединение «Меро»

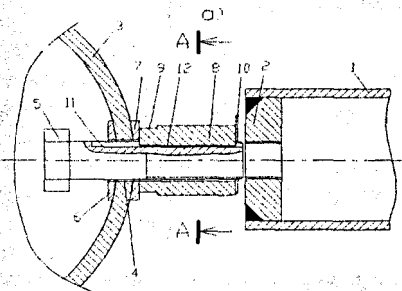
Снизить высокие требования к допускам на изготовление соединяемых в узлах пространственных конструкций элементов и упростить сборку узлов непосредственно в построечных условиях позволяет разработанный в Брестском государственном техническом университете узел по патенту РБ 2489 [2], в котором узловый элемент выполнен в виде полого шара, собранного из двух сваренных между собой полусфер, с отверстиями в стенке. Со стороны полости шара через отверстия пропущены с возможностью вкручивания в гайки полых стержней структуры крепежные высокопрочные болты с силовой и стопорной гайками. В проектом положении стопорная гайка стопорит гайку стержня относительно болта, а силовая гайка-болт относительно шара.

Узел системы «БргТУ» успешно использован при строительстве более десятка объектов, наиболее важными из которых являются: «Ледовая арена в г. Пружаны», «Летний амфитеатр в г. Витебске» и т.д.

Однако в узле системы «БргТУ» передача сжимающих нагрузок от стержней на узловый элемент только через болты обуславливает невысокую несущую способность узлового соединения. Кроме того, несущие болты открыты внешним воздействиям, вслед-

ствие чего повышается вероятность их коррозии в процессе эксплуатации, снижающей долговечность конструкции.

Для устранения указанных недостатков на основе узлов «БрГТУ» и «Меро» разработаны изображенные на рис. 2,3 новые узлы с поводковыми втулками, на которые поданы заявки на выдачу патентов РФ, находящиеся в настоящий момент на рассмотрении.



1 – полые стержни; 2 – гайки; 3 – полый шар;  
4 – отверстия; 5 – болты; 6 – внутренние шайбы;  
7 – наружные шайбы; 8 – втулки; 9 – лыски под гаечный ключ; 10 – съемный фиксатор;  
11 – шлицевой паз; 12 – шлицевой выступ

Рисунок 2 – Узел соединения полых стержней с поводковыми втулками с продольными выступами, взаимодействующими со шлицевыми пазами болтов в проектное положение

В представленном на рис.2 узле на болты, снаружи полого шара, одеты с возможностью перемещения поводковые втулки с лысками под гаечный ключ. Каждый из болтов оборудован съемным фиксатором положения втулки, размещенным между торцом болта и втулкой, и выполнен со шлицевым пазом, а каждая из втулок снабжена размещенным в пазе болта шлицевым выступом. Съемный фиксатор размещен на расстоянии 3...4 витков резьбы от торца болта (для обеспечения первоначально вкручивания болта в гайку стержня) и может быть выполнен в виде проволочной скрутки (на чертежах не показано) или плотно одеваемой на болт пластмассовой упругой шайбы с вырезом.

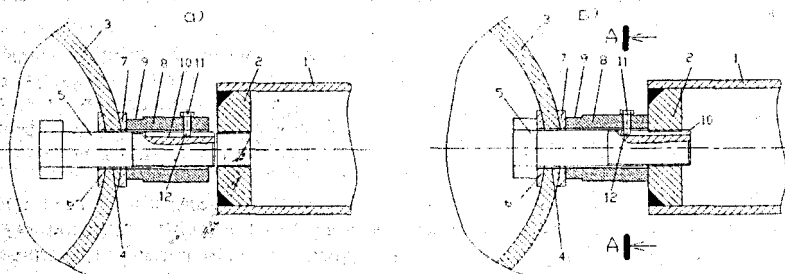
При сборке узла каждый из стержней заводится между шарами смежных узлов с максимально втопленным в полость шара болтом до опирания втулки с наружной шайбой на наружную поверхность шара, при этом между гайкой стержня и болтом образуется монтажный зазор, а втулка стопорится на болте благодаря съемному фиксатору (рис.2). Затем, путем вращения втулки с болтом, последний ввинчивается в гайку стержня на 2...3 витка, при этом вращающий момент передается от втулки на болт через шлицевой выступ, взаимодействующий со шлицевым пазом болта. Вращение втулки выполняется при помощи гаечных ключей, одеваемых на лыски втулки. На заключительном этапе с болта демонтируется съемный фиксатор и производится окончательное вкручивание болта, выдвигаемого из втулки, в гайку стержня при вращении втулки до полной выборки всех зазоров и получения требуемого усилия затяжки, при этом узел и стержни занимают автоматически проектное положение. Аналогично соединяются в узле остальные стержни.

Однако изготовление втулки со шлицевым выступом характеризуется большими трудозатратами и требует наличия съемного фиксатора.

Для упрощения изготовления узла и исключения из конструкции съемного фиксатора в предлагаемом на рис.3 узле каждая из втулок снабжена врезным винтом с цилиндрическим концом, размещенным в шлицевом пазе болта.

Диаметр врезных винтов регулируется из условия их срезания при создании необходимого предварительного напряжения болтов при сборке узлов.

Перед сборкой узла втулки стопорятся на болтах на расстоянии 3...6 витков от их торцов (для обеспечения первоначально вкручивания болта в гайку стержня) посредством максимального вкручивания винта во втулку до упора цилиндрического конца в дно шлицевого паза болта.



а) узел в момент заведения стержня между смежными узлами, разрез; б) то же, в проектное положение; 1 – полые стержни; 2 – гайки; 3 – полый шар; 4 – отверстия; 5 – болты; 6 – внутренние шайбы; 7 – наружные шайбы; 8 – втулки; 9 – лыски под гаечный ключ; 10 – шлицевой паз;

11 – врезной винт; 12 – цилиндрический конец винта

Рисунок 3 – Узел соединения полых стержней с поводковой втулкой, снабженной выступом в виде врезного винта, взаимодействующего со шлицевым пазом болта

При установке каждого из стержней последний заводится между шарами смежных узлов с максимально утопленным в полость шара болтом, при этом между гайкой стержня и болтом образуется монтажный зазор (рис.3 а). Затем, путем вращения втулки с болтом, последний ввинчивается в гайку стержня на 2...3 витка, при этом вращающий момент передается от втулки на болт через врезной винт, взаимодействующий цилиндрическим концом со шлицевым пазом болта. На заключительном этапе врезной винт вывинчивается из втулки на 1...3 витка резьбы (для обеспечения возможности перемещения болта относительно втулки) и производится окончательное вкручивание болта, выдвигаемого из втулки, в гайку стержня при вращении втулки до полной выборки всех зазоров и получения требуемого усилия затяжки (рис.3 б). При этом в момент достижения требуемого усилия затяжки болтов происходит срезание врезного винта и дальнейшее напряжение болтов становится невозможным.

Снабжение узлов втулками с выступами, взаимодействующими со шлицевыми пазами болтов, обеспечивает существенное повышение несущей способности узлов на сжимающие нагрузки, упрощение их сборки и защиту болтов от внешних воздействий (т.е. расширение области применения узлов системы «БрГТУ»), что позволяет рекомендовать разработанные узлы в широком масштабе при возведении структурных конструкций.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трушев, А.Г. Пространственные металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1983 – С. 117.
2. Узел соединения полых стержней пространственного каркаса: пат. 2489 РБ, МПК 7 E 04B 1/58 / В.И. Драган, А.А. Левчук, Н.Н. Шалобьта, В.Н. Пчелин; заявитель УО "Брест. гос. техн. ун-т" (BY). – № u 20050458; заявл. 21.07.05; опубл. 28.02.06 // Афицыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 1. – С.193.



УДК 69.057.4 (088.8)

Мартысюк В.С., Харитонович Д.А.

Научный руководитель: доцент Пчелин В.Н.

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ УЗЛОВ СТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ С ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМИ ВТУЛКАМИ НА ОСНОВЕ УЗЛОВ СИСТЕМЫ «БрГТУ»

Структурные конструкции относятся к классу пространственных стержневых конструкций, используемых чаще всего в качестве несущих элементов покрытий зданий общественного и производственного назначения.

Достоинствами структур являются: возможность создания большого пролета между опорами, индустриальность изготовления элементов структуры и их сборки, возможность размещения инженерных коммуникаций между поясами структур.

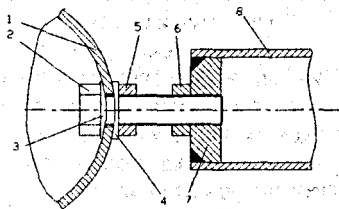
В практике строительства применяются сварные, болтовые и комбинированные узловые соединения.

Сварные узловые соединения изготавливаются непосредственно на строительной площадке, вследствие чего они характеризуются высокой трудоемкостью сборки структур, что сдерживает их широкое применение в строительстве.

Болтовые соединения, характеризуемые невысокой расчетной воспринимаемой нагрузкой и необходимостью высокой точности изготовления соединяемых элементов структуры, исключают сварку как в заводских так и в построечных условиях и позволяют собирать структуру из стержней на болтах или других сборных приспособлениях (фасоночные и замковые соединения).

В комбинированных узловых соединениях сочетаются как сварные, так и болтовые соединения, при этом сварка выполняется в заводских условиях, а сборка – в построечных на болтах. К недостаткам существующих комбинированных узловых соединений («Меро», «Веймар», «ИФИ» и др.) следует отнести повышенные требования к точности изготовления собираемых в узел элементов, что существенно усложняет их изготовление и сборку.

Для снижения требований к точности изготовления собираемых в узел элементов и упрощения сборки структур в Брестском государственном техническом университете разработаны, испытаны и успешно внедрены комбинированные узлы соединения элементов структур с узловым элементом в виде полого шара (узел системы «БрГТУ» [1], рис. 1).



1 – полый шар; 2 – болт; 3 – внутренняя шайба; 4 – наружная шайба; 5 – силовая гайка; 6 – стопорная гайка; 7 – гайка стержня; 8 – полый трубчатый стержень

Рисунок 1 – Узел соединения полой стержневой структурной плиты системы «БрГТУ» (патент РБ 2489)

Узловой элемент разработанного узла по патенту РБ 2489 [1] выполнен в виде полого шара, собранного из двух сваренных между собой полусфер, с отверстиями в стенке (рис.1) и предназначен для соединения стержневых элементов в виде тонкостенных трубчатых профилей, оголовки которых снабжены жестко установленными в их полостях специальными гайками. Со стороны полости шара через отверстия пропущены крепеж-

ные высокопрочные болты из стали 40 ХС "Селект" или 30ХЗМФ с силовой и стопорной гайками с возможностью вкручивания в гайки полых стержней структуры. Между головками болтов и внутренней поверхностью шара, а также между силовыми гайками и наружной поверхностью шара, установлены шайбы со сферическими, обращенными к шару поверхностями.

При сборке узла силовая и стопорная гайка стопорятся относительно друг друга и болта посредством поворота гаек с затягиванием навстречу друг другу. Затем, путем вращения застопоренных гаек с болтом, последний вкручивается в гайку полого стержня до упора силовой и стопорной гаек в гайку стержня, притом головка болта опирается во внутреннюю шайбу, а через нее – в стенку полого шара. На заключительном этапе силовая гайка вращается в обратном направлении до момента ее опирания в наружную шайбу, и производится стопорение болта относительно шара путем затягивания силовой гайки. Аналогично соединяются в узле остальные стержни.

Выполнение отверстий в стенке полого шара диаметром, превышающим диаметр болтов, обеспечивает возможность поворота болтов при сборке узла на расчетный угол, что упрощает сборку узла и позволяет снизить точность изготовления узлового элемента. Упрощению сборки узла способствует также возможность изменения в пределах  $\pm 5$  мм расстояния между узлами.

Проведенные испытания в полной мере подтвердили работоспособность запроектированных структурных плит на основе разработанных узлов и показали, что испытанные структуры удовлетворяют всем требованиям СНиП и СНБ.

Разработанная структурная плита системы «БрГТУ» с узлами из полых шаров использована при проектировании и строительстве структурных покрытий ряда объектов: Летний театр в г. Бресте; Ледовая арена в г. Пружаны, г. Кобрин, г. Лунинец; Летний амфитеатр в г. Витебске; Навес стадиона «Спартак» в г. Гомель и т.д.

Однако в узле «БрГТУ» передача сжимающих нагрузок от стержней на узловой элемент в виде шара только через болты обуславливает невысокую несущую способность узлового соединения. Кроме того, несущие болты открыты внешним воздействиям, вследствие чего повышается вероятность их коррозии в процессе эксплуатации, снижающей долговечность конструкции.

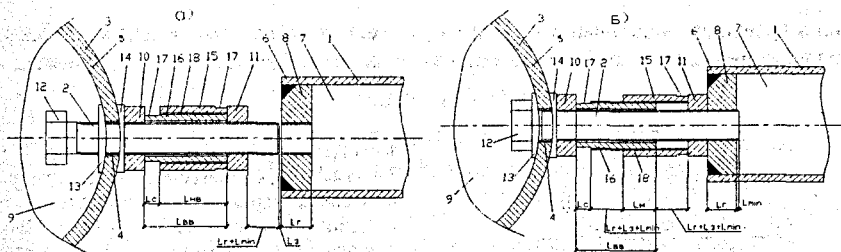
Для повышения несущей способности узлового соединения при восприятии сжимающих нагрузок и защиты несущих болтов от внешних воздействий разработаны новые узлы с телескопическими втулками, защищенные патентами РБ 5495 [2] и 5726 [3].

В предлагаемом узле по патенту РБ 5495 между силовыми и стопорными гайками коаксиально монтированы одетые с возможностью осевого перемещения и вращения на болты наружные и внутренние втулки с лысками под гаечный ключ у одного из торцов (рис.2). Наружная поверхность внутренних втулок и внутренняя поверхность наружных втулок выполнены с взаимодействующей друг с другом винтовой резьбой.

Длины внутренних  $L_{вв}$  и наружных  $L_{нв}$  втулок связаны с шириной  $L_2$  гаек стержней, шириной  $L_1$  лысок внутренних втулок, монтажным зазором  $L_3$  между болтами и гайками стержней, минимально допустимой величиной выхода болтов из гаек стержней в проектом положении  $L_{min}$ , длиной  $L_n$  участков резьбы втулок, обеспечивающей передачу сжимающих усилий от стержней на узловой элемент, и количеством  $n$  циклов при вкручивании болтов в гайки стержней следующими соотношениями:

$$L_{вв} \geq (L_2 + L_3 + L_{min})/n + L_n + L_1; \quad (1)$$

$$L_{нв} = L_{вв} - L_1. \quad (2)$$



а) узел в момент заведения стержня между смежными узлами, разрез; б) то же, в проектном положении; 1 – полые стержни; 2 – крепежные болты; 3 – полый шар; 4 – отверстия; 5 – стенки шара; 6 – оголовки стержней; 7 – полости стержней; 8 – гайки стержней; 9 – полость шара; 10 – силовые гайки; 11 – стопорные гайки; 12 – головки болтов; 13 – внутренние шайбы; 14 – наружные шайбы; 15 – наружная втулка; 16 – внутренняя втулка; 17 – лыски под гаечный ключ; 18 – винтовая резьба втулок  
Рисунок 2 – Узел соединения полых стержней с телескопическими втулками по патенту РБ 5495

Выражение (1) определяет возможность передачи сжимающих нагрузок от стержней через втулки в их проектном положении на шар, а выражение (2) – возможность одевания гаечного ключа на внутреннюю втулку с целью приведения втулок в проектное положение, т.е. возможность нормальной сборки узла.

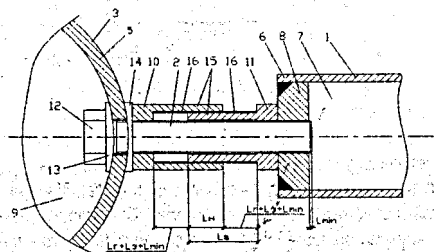
Перед установкой каждого из стержней стопорная гайка устанавливается на расстоянии  $L_2 + L_{min}$  от торца болта (рис.2 а), к стопорной гайке прижимаются втулки, а к торцам внутренней втулки – силовая гайка. После чего производится стопорение силовой и стопорной гаек относительно друг друга и болта посредством поворота с затягиванием указанных гаек навстречу друг другу. При установке каждого из стержней последний заводится между шарами смежных узлов с максимально втопленным в полость шара болтом до опирания силовой гайки с наружной шайбой в наружную поверхность шара, при этом между стержнем и болтом образуется монтажный зазор  $L_3$  (рис.2 а). Затем, путем вращения застопоренных гаек с болтом, последний ввинчивается в гайку стержня до упора стопорной гайки в гайку стержня, при этом головка болта с шайбой упирается в стенки шара 3. После чего силовая гайка вращается в обратную сторону до момента ее опирания в наружную шайбу, и производится стопорение болта относительно шара путем затягивания силовой гайки. На заключительном этапе внутреннюю втулку выкручивают из наружной втулки при помощи гаечных ключей, одеваемых на лыски втулок, до плотного опирания торца внутренней втулки в силовую гайку, а наружную втулку – в стопорную гайку (рис.2 б). Аналогично соединяются в узле остальные стержни.

К недостаткам узла по патенту РБ 5495 можно отнести увеличение количества собираемых в узле деталей и расстояния между торцами стержней и шаром.

Устранить указанные недостатки позволяет узел по патенту РБ 5726 (рис.3), в котором силовые и стопорные гайки снабжены жестко прикрепленными к ним и коаксиально установленными относительно друг друга и болтов втулками равной длины, а контактирующие между собой поверхности втулок выполнены с взаимодействующей друг с другом винтовой резьбой, имеющей шаг, равный шагу резьбы болтов, причем длина  $L_6$  втулок связана с шириной  $L_2$  гаек стержней, монтажным зазором  $L_3$  между болтами и гайками стержней, минимально допустимой величиной  $L_{min}$  выхода болтов из гаек стерж-

ней в проектном положении и длиной  $L_n$  участков резьбы втулок, обеспечивающей передачу сжимающих усилий от полых стержней на узловую элемент, соотношением:

$$L_e \geq L_2 + L_3 + L_{min} + L_n \quad (3)$$



1 – полые стержни; 2 – крепежные болты; 3 – полый шар; 4 – отверстия; 5 – стенки шара; 6 – оголовки стержней; 7 – полости стержней; 8 – гайки стержней; 9 – полость шара; 10 – силовые гайки; 11 – стопорные гайки; 12 – головки болтов; 13 – внутренние шайбы; 14 – наружные шайбы; 15 – втулки; 16 – винтовая резьба втулок

Рисунок 3 – Узел соединения полых стержней по патенту РБ 5726 в проектном положении

Соотношение (3) определяет возможность передачи сжимающих нагрузок от стержней через втулки в их проектном положении на шар и нормальной сборки узла.

При установке каждого из стержней последний заводится между шарами смежных узлов с максимально втпленными в полость шаров болтами до опирания силовых гаек с наружными шайбами в наружную поверхность шаров, при этом между стержнем и болтами образуются монтажные зазоры  $L_3$ . Затем, путем вращения застопоренных гаек с втулками и болтом, болт ввинчивается в гайку стержня до упора стопорной гайки в гайку стержня, при этом головка болта с внутренней шайбой упирается в стенки шара. На заключительном этапе силовая гайка с ее втулкой вращается в обратную сторону до момента опирания силовой гайки в наружную шайбу, и производится стопорение болта и втулок относительно шара путем затягивания силовой гайки, т.е. приведение соединения в проектное положение. Аналогично соединяются в узле остальные стержни (рис.3).

Благодаря введению в конструкцию узла телескопических втулок (патенты РБ 5495 и 5726), использование узлов структурного покрытия позволяет повысить несущую способность узла, за счет передачи значительной части сжимающей нагрузки через втулки, и долговечность конструкций, за счет защиты несущих болтов от внешних воздействий, вследствие чего указанные узлы можно рекомендовать к внедрению в производство.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Узел соединения полых стержней пространственного каркаса: пат. 2489 РБ, МПК 7 E 04B 1/58 / В.И. Драган, А.А. Левчук, Н.Н. Шалобыта, В.Н. Пчелин; заявитель УО "БрГТУ" (ВУ). – № и 20050458; заявл. 21.07.05; опубл. 28.02.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – №1. – С.193.

2. Узел соединения пространственного каркаса из полых стержней: пат. 5495 РБ, МПК 7 E 04B 1/58 / В.И. Драган, В.С. Мартысюк, Д.А. Харитонович, В.Н. Пчелин; заявитель УО "БрГТУ" (ВУ). – № и 20090089; заявл. 09.02.09; опубл. 30.08.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – №4. – с.212.

3. Узел соединения пространственного каркаса из полых стержней: пат. 5726 РБ, МПК 7 E 04B 1/58 / В.И. Драган, В.С. Мартысюк, Д.А. Харитонович, В.Н. Пчелин; заявитель УО "БрГТУ" (ВУ). – № и 20090162; заявл. 02.03.09; опубл. 30.12.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – №6. – С.191.

## БРЕСТСКИЙ СВЯТО-НИКОЛАЕВСКИЙ СОБОР. НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ИСТОРИЮ И АРХИТЕКТУРУ XVI-XVII вв.

Как правило, христианские памятники в XIV-XVI вв. – церкви и костелы – размещались на рынке или недалеко от рынков. Брестские христианские храмы этого периода не являлись исключением. Центральная рыночная площадь города в 1554 г., описанная Николаем Нарушевичем и вошедшая основным разделом в «Описание староства 1566 г.», дает представление о наличии культовых христианских построек на ней. Там располагались: на ул. Руской – церковь Свв. Козьмы и Дамиана, на Немецкой – Свв. Сергея и Вахха и еще 2 сооружения находились на небольшой улочке Микулинской, идущей от рынка к Свято-Николаевской церкви. Это собственно сама «морованая церковь Микулинска» и костел Святого Креста Брестской фары, расположенный южнее. Церковь располагалась на территории, подлежащей владычной юрисдикции, которую составляли строения ансамбля Брестского Свято-Николаевского подворья или владычного двора. На нем находились: Николаевская церковь, являвшаяся центральным зданием; 6 участков для проживания священников (Курияна, Данилы, Семена, Юревского, Воскресенского, Ивана); городской шпиталь (богательня); руская школа; конюшня и стойки епископского двора; 6 участков для проживания обслуги, в основном хозяйственного профиля. Территория восточнее церкви до Мухавца представляла собой обширное кладбище православного обряда. В описании оно не упоминается, однако незаштрихованная часть восточного сектора на гравюре Дальберга доказывает его наличие, обозначенное еще со времен Витольдова привелея 1412 года. «Двор владычин» выходил на улочку Микулинскую. Длина ограды по фасадной стороне составляла около 65 метров. К сожалению, изображение Свято-Николаевской церкви и планировки подворья XVI в. не известны. Попытка воссоздать архитектурное изображение здания Собора на конец XVI в., во время управления кафедрой епископом Мелетием Хрептович Богуринский, представлена в этой работе и основывается на обработке изображения 1657 г. (Рис. 1).

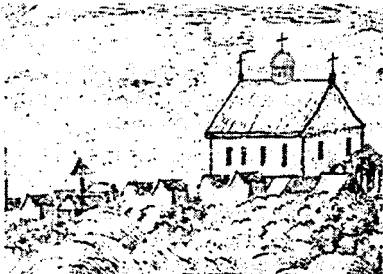


Рисунок 1 – Вариант восстановления архитектурного образа Свято-Николаевского Собора на кон. XVI в. Не показаны некоторые элементы переднего плана (базилианская церковь, появившаяся позже, и здание доминиканского монастыря) гравюры Дальберга 1657 г.

«Описание Берестейского староства», выполненное И. и Д. Сапегами, явилось первым источником, сообщаящим о наличии в Берестье на восточной оконечности центрального острова каменного здания Микулинской церкви – «морованой», т.е. из кирпича. Временная привязка «Описания...». И. Сапеги представляется 1561 г. [1].

1 июля 1569 г. в г. Люблине состоялся генеральный сейм, созданный Сигизмундом II, Королем Польским, который «завершил соединение Литвы с Польшею». Город Берестье становится Брестом-Литовским, городом воеводского статуса, местом расположения кафедры – центра Брестско-Владимирской епархии [2]. Веро-

ятно, с наделением брестской части Владимиро-Брестской епархии кафедральными функциями, что не встречается ни в одной из юго-западных и западных епархий (два кафедральных ядра), церковь получила статус Собора и стала местом проведения целого ряда съездов высшего православного духовенства западных и юго-западных епархий ВКЛ. Естественно, это было продиктовано хорошим состоянием здания, его представительностью; великолепием интерьеров, наличие двух престолов позволяло проводить удвоенное богослужение, внутреннее пространство могло обеспечить работу сотен людей (пример Соборов 1590-1594 гг. и 1596 г.). Архитектура здания, как мне представляется, была воплощением и сочетанием лучших архитектурных идей, приемов, технологий, используемых в ВКЛ и европейских странах в XVI в. В архитектуре Брестского Собора как в зеркале отражались новые европейские тенденции, с учетом городской архитектурно-планировочной композиции.

Первое гравированное изображение Собора находим в альбоме «De rebus a Carolo Gustavo Sueciae Rege...», изданном в Нюрнберге в 1696 г. Самуэлем вольным бароном де Пуфендорфом. Среди изображенных культовых строений трех брестских конфессий: римской, греко-католической и «моижешовой», греко-римскую составляющую, кафедральную базилику Брестско-Владимирской епархии, представляет сооружение неповторимой индивидуальности – Свято-Николаевский Собор. Епископом после смерти Иосифа Баковецкого, умершего в 1655 г., был Адам Потей (внук митрополита), правивший епархией до 1658 г., переживший шведско-венгерское нашествие.

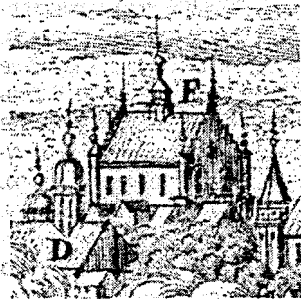


Рисунок 2 – Собор Святого Николая, церковь Микулинская. Э. Дальберг. 11.05.1657 г. Литера «F» проставлена ошибочно

Общая архитектоника здания характеризуется равновесием и спокойствием формы главного строительного объема, комплекс декоративных элементов радикально преобразует базилику, придает ей торжественность. Архитектура Собора представляет собой умелое сочетание элементов нескольких европейских стилей и качественное отличие от четырех других монастырских костелов города и костела фары. Вероятно, исходя из этих соображений, автор перестройки или восстановления Собора, состоявшейся в первой четверти XVII в., зная и используя европейскую и местную традицию (Рис. 3), для придания тривиальной, непримечательной и невыразительной романской базилике легкости, изящества, художественной индивидуальности применил декоративные элементы, в пропорциях имитирующие круглые башни небольшого диаметра, поставленные по четырем углам, создающие эффект «incastellatio», а их шпилевое завершение с многошаровой композицией делает его (Собор) аналогичным; замечательным европейским образцам ренессансной классики.

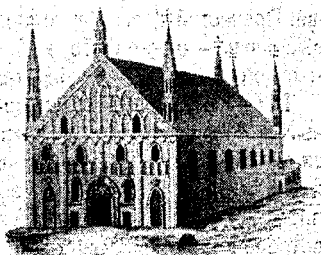
Вторым архитектурным прототипом был Виленский кафедральный костел, сгоревший в 1530 г. Здание чудесной готической архитектуры являлось кафедрой для Брестского костела Святого Креста. Очевидно декоративное применение угловых башенных конструкций, которые не выступали за оси здания. Угловые башенки представлены двухъярусными восьмигранными ажурными пинаклями с высокими окнами, завершающиеся остроконечными фиалами, с крестом на каждом. Предположительно, передний фасад Собора, являясь его главным иконостасом, был аналогичен приведенным примерам костелов столичного г. Вильно. Такие фасады были широко применяемы в храмо-

вом строительстве на территории Брестского воеводства. Вероятно, по упущению не была показана седьмая, левая башенка заднего фасада (Рис. 4).



Рисунок 3 – Костел Святого Николая в Вильно. Один из вероятных архитектурных прототипов Брестского Св. Николаевского Собора, освященный в 1440 г., укреплен 4-мя контрфорсами после периода войн 2-й пол. XVII в. Изображение 30-х гг. XIX в. [3]

Рисунок 4 – Виленский кафедральный костел, фундаментированный Великим князем Литовским Витовтом и его супругой Анной после 1399 г., уничтожен вторым великим пожаром города в 1530 г., через 100 лет после смерти своего основателя [5]



Оценивая и сравнивая Брестский Собор с лучшими европейскими аналогами, отмечаем высокий художественный и профессиональный уровень архитектора, создавшего и сравнившего Собор с такими примерами европейской ренессансной архитектуры, как каплица на Вавеле и голландский Хаарлемский Влещал, с его ступенчатым щитом и легкими декоративными шпилями. Это подтверждает представление о городе, как о достаточно совершенном полифункциональном организме, который всегда являлся аккумулятором и воплощением архитектурного такта, соразмерности, чувства меры. Применение эффектных архитектурных ходов в пульсе своего времени – яркое свидетельство влияния западноевропейских стилей, профессионализма и таланта градостроителей, гражданского (в то время магнатского) строительства и культового – греко-католической и римской конфессий.

Диспропорция изображения гравюры объясняется применяемыми Дальбергом художественными приемами: преднамеренное уменьшение габаритов соседних построек; пренебрежение законами перспективы и смещение культовых зданий в плоскость, противоречащую всем известным картам и планам; увеличение зданий с целью обозначить самые крупные идеологические и политические центры-доминанты города [2]. В связи с этим можно сделать вывод: Э. Дальберг, изображая восточную половину центрального острова, мотивированно наделил эти здания искаженными, увеличенными размерами, тем самым он обозначил территорию, занимаемую этими монастырскими комплексами, символическим рисунком одного здания. Рационально предположить, что после пожаров 1613 и 1620 гг., а возможно, и 1651 г. Собор был восстановлен, украшен внешними декоративными элементами, естественно и богатством интерьера. 30-е годы XVII в. для центрального острова города были «временем большой стройки», что коснулось и этого здания, обновленный вид которого, вероятно, и представлен на гравюре Э. Дальберга 1657 г.

На гравюре изображены два типа зданий: деревянные и каменные. К каменным зданиям относятся Св. Николаевский Собор, костел иезуитского коллегіума, обе синагоги и др. У всех каменных зданий, сложенных из кирпича, передние и задние фасадные фронтоны завершаются ступенчатообразно. Такое повсеместно применяемое завершение в этот период времени, кроме ВКЛ, можно обнаружить во многих европейских странах: Дании, Норвегии, Германии, Голландии, Швеции, Польше, Литве. Зная размеры кирпича, несложно предположить толщину этих щитов (450, 600, 750 мм) и ритм кладки ступени.

На изображении уровень конька Свято-Николаевского восьмишпилевого Собора находится выше всех рядом расположенных зданий: парафиального костела фары и костела иезуитского коллегіума/ Это не вымысел художника. Возвышение, на котором стоит Собор, оговорено в Приве́леу Витовта 1412 г. на церковь Святого Креста и Вознесения Пречистой Девы Марии, под которую отводится плац за «a gradu» (лат.) [4] – возвышением – южнее Собора по ул. Ковальской. Здание возведено, вероятно, из кирпича местного изготовления габаритами  $\frac{1}{2} : \frac{1}{4} : \frac{1}{2}$  локтя, что соответствовало 300:150:75 мм.

Видимыми фасадами Собора являются западный фасад, северный фасад и северный скат кровли. Западный фасад представляет собой кирпичную стену, завершающуюся ступенчатым щитом. Треугольное завершение стены главного фасада, или щит, ступенеобразными зубцами одинакового симметричного ритма поднимается над боковыми плоскостями кровли. Зубчатые завершения соблюдают и подчеркивают стиль. Функцию ветровой защиты в здании выполняли щиты – фронтоны.

На западном фасаде располагались центральные входные двери Собора, которые могли иметь прямоугольный или полуциркульный арочный вход, возможно, для придания единой стилиевой направленности был применен портал. Исходя из соображений представительности здания, можно предположить, что они были 2-польными и изготовлены, естественно, из твердых пород дерева: дуб, ясень, кипарис. Последняя порода не подвержена порче шашелем – короедом, была используется для особо ценных окладов, киотов, сеней, дверей и т.д. Выше дверей располагались 2 ниши с верхним сжатым сводом, высотой окна северного бокового фасада. В нишах могли размещаться изображения святых, одним из которых мог быть Святитель Николай. Возможно, это были 2 окна, обрамленные узором или фризом. Выше карниза, на центральной оси симметрии фасада, в нижней трети фронтона обозначен элемент, который мог быть либо круглой нишей, либо круглым окном, как правило, с цветным витражом, орнаментирован фризом, что подчеркивает влияние итальянского Ренессанса и является одной из его характеристик. Центральный фасад фланкирован 2-мя цилиндрическими колоннами-башнями. Дальберг не отметил наличие ни ярусов, ни окон-бойниц, что позволяет предположить следующее. Башни не выполняли функций оборонного характера, из-за малого диаметра, их назначение было чисто декоративным, придающим легкость массивной конструкции здания, подчеркивающим сходство с элементами ренессансной конструкции. Завершения колонн и сами колонны придают легкость, ажурность общему виду Собора. Каждая колонна завершается сопряжением особой формы с верхушкой, сквозь которую проходит вертикальная ось – шпиль, последовательно проходящий через 2 элемента шаровидной формы и различного диаметра, расположенных один над другим. Верхнюю точку главного фасада венчает точно такой же шпиль, который применен на завершениях колонн.

Восточный фасад Брестского Собора по очертаниям идентичен западному. Оценить апсиду Свято-Николаевского собора, примыкающую к восточному фасаду, не представляется возможным. Однако при увеличении гравюры стал заметен элемент, который яв-



ляется повторением башенных завершений, т.е. шпиль, проходящий последовательно через два шара разного диаметра. Этот элемент является завершением апсиды, что естественно согласуется с общей концепцией храма. Высота апсидного шпиля находится на уровне конька здания. Северный, обращенный к нам, и южный фасады, вероятно, идентичны. В каждом из них по четыре окна. Каждое окно с отношением высоты к ширине  $\approx 3:1$ . Расстояние от стрелы сжатого свода до карниза у Опалинского определяется величиной не менее 2-х локтей, т.е. 1,2 м. Окна высокого расположения с учетом выполнения функции соляницы внутреннего объема. Для придания окнам большей архитектурной выразительности они украшались карнизами и фризами. Боковые фасады завершаются небольшим карнизом, который в свою очередь накрывается окапом или «полотью» кровли.

Применительно ко всему зданию «Краткая наука строительства» 1659 г. А. Опалинского дает соотношение высоты здания от фундамента до карниза к расстоянию от карниза до конька. Это соотношение у него принято 12:10. Исходя из того, что фундамент собора скрыт располагающимися рядом постройками и фактически отсутствует уровень грунта, такое соотношение дает возможность оценить, как один из возможных вариантов, высоту здания: 6,6 м – высота здания, 5,5 м – высота двускатной кровли.

Двускатная или двухпольная, по всей видимости, черепичная кровля Собора выполнена по стропильной конструкции между 2-мя фронтонами. На коньке кровли, на его середине, поставлен барабан. Нижний восьмерик через небольшое сопряжение переходит в восьмерик меньших размеров, на котором находится конусообразный купол. Из купола восстановлен шток, проходящий через шар. Диаметр шара равен примерно половине диаметра купола. Верхняя точка шпиля Свято-Николаевского Собора являлась, согласно гравюре, самой высокой точкой центрального острова. Кроме презентабельных функций, вытекающих из его высоты, как бы парения над городом, такая высота шпиля таила в себе одну опасную характеристику: отсутствие элементов молниезащиты систематически подвергало доминирующие сооружения опасности поражения грозовыми разрядами.

Как ни повреждали его время, войны, пожары и люди, он выстоял. Выстоял в смутное время, но был ликвидирован в относительно мирное время, став напоминанием человеку о его делах: «Что твориши, человече, в Бога веруя, Бога снося?»

Значение этого сооружения для города XVII в. велико. Это была вершина, олицетворяющая Брест во многих качествах: в качестве архитектурного памятника европейского уровня, в качестве кафедрального храма епархии, в качестве образца духовного подвига его настоятелей, в качестве эталона духовного покровительства прихожан, в качестве доминанты геодезической и ориентира, в качестве идеала с неумещающимся со временем интересом к нему, в главном своем значении главного храма с почти 600-летней историей в городе.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акты ВАК. – Т. VI. – С. 160.
2. Метрика Литовская / Зельверович, Л.Х. – СПб., 1883. – С. 31.
3. Kraszewski, J.I. Wilno – Wilno, 1840. – Т. I. – С. 309.
4. Narbutt, T. Dzieje narodu polskiego: dodatek IV. Przywilej Wifoldowski kościolowi Brzeskiemu. – Wilno, 1839. – Т. IV. – С. 34.
5. Narbut, T. Pomniejsze pisma historyczne. – Wilno, 1856. – С. 108, tabl. II.

**ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕТОВОГО ДИЗАЙНА ул. ЛЕВАНЕВСКОГО в г. БРЕСТЕ**

Свет – неотъемлемая часть города. Я считаю, что у нас уделяется недостаточно внимания проблеме освещения улиц, в нашем городе световой образ формируется стихийно. Поэтому, на мой взгляд, данная проблема требует подробного рассмотрения. Окружающее нас пространство влияет на наше душевное состояние. В свою очередь от психо-эмоционального состояния человека напрямую зависит его работоспособность. Свет, цвет, формируемая ими форма могут как поднять настроение, так и наоборот – привести к печали и унынию. Из вышесказанного можно сделать вывод о важности рассмотрения освещения улицы Леваневского, так как она находится в центре города, рядом с парком, в месте скопления людей.

Актуальность проблемы освещения городского пространства заключается в том, что недооценивается роль света в архитектуре. Архитектура должна создаваться не только для жизни в ней и восприятия ее днем (это одно визуальное восприятие окружающего мира), но и ночью, и выглядеть не простым повторением дневной, а иметь свои характерные образно-эмоциональные качества. Это следует считать вторым зрительным состоянием и архитектурным образом городской среды.

Световой образ – объективная основа зрительного образа – создается архитектурой и светом. На мой взгляд, в данный момент возникла потребность в рассмотрении освещения с точки зрения важной и актуальной проблемы современного города.

Для лучшего понимания темы необходимы знания об истории развития искусственного. Датой рождения стационарного уличного освещения принято считать 1667 год, когда на улицах Парижа при Людовике XIV были установлены 2736 масляных фонарей и организована постоянная служба городского освещения. Первая в истории установка уличного электрического освещения была продемонстрирована в 1874 году А. Н. Лодыгиным на Одесской улице в Петербурге. Наибольшее распространение искусственное освещение получило в к. XX - нач. XXI вв.

Важнейшим организующим элементом зрительного восприятия предметно-пространственной (архитектурной) среды является световая композиция, единство зрительной формы, процесса и результата эстетического восприятия. Отсюда возникает такое понятие, как световой ансамбль. Обусловленное функциональным назначением и художественным замыслом гармоничное сочетание различных по яркости, цветности, размерам, форме, расположению в пространстве и во времени световых пятен, образующих единое и содержательное целое – архитектурную светоформу.

Для лучшего восприятия городского пространства, ориентации необходимо создание световых ансамблей. С одной стороны, выделение из общей массы центра значимых градостроительных элементов, а с другой, объединение кварталов и отдельных улиц в единую световую среду.

Композиционная структура ансамбля вообще и светового ансамбля в частности устанавливает эмоционально-эстетическое взаимоотношение между всеми его объемно-планировочными компонентами. Они подразделяются на доминанты, акценты и фоновые элементы. Обязательна для ансамбля соподчиненность образующих его элемен-

тов, заложенная в его художественном образе. Доминанта принимает статическую форму, а все остальные подчиненные ей элементы имеют форму относительно динамичную. В первую очередь освещаются доминанты, акценты появляются, как правило, поэтапно и не обязательно в порядке их «дневной» значимости.

Немаловажную роль в формировании световой среды играют источники освещения. Их многообразие удивляет и дает возможность создания разнообразных эффектов. Одним из типов источников искусственного освещения является медиафасад. Медиафасады – новая технология в светодизайне, позволяющая оформлять фасады зданий интерактивными поверхностями с возможностью их полной интеграции в архитектурные сооружения.

Основой построения принципов освещения улицы Леваневского становится ее история, из которой можно сделать вывод об уникальности застройки данного квартала и значимости акцентирования внимания, выделения из общей массы городской застройки.

Для Юлиана Лисецкого натуральной основой для творчества был т.н. «Styl narodowy» с элементами эпохи Возрождения, готики и барокко. В брестских проектах 1925-1926 гг. видно, что, сменяя элементы и детали, вводя в композицию фасадов барочные щиты, колонны, имитирующие контрфорсы, Лисецкий импровизировал с объемом жилого дома.

Застройка по ул. Леваневского является примером культурно-исторического наследия нашего города, а также примером архитектуры 20-30 годов XX века. Поэтому очень важно не только сохранить данные здания, но и сделать их более выразительными и привлекательными для восприятия не только в дневное время, но и ночью.

Архитектурные комплексы соответствуют «ансамблевому» масштабу. Осветительные установки в таких ситуациях воспринимаются вполне конкретно и могут быть полноценными ритмическими, пластическими и стилевыми элементами ансамбля. В данный момент ночной образ улицы сформирован функциональным уличным освещением. Необходимо качественно, избирательно осветить вертикальные поверхности главных «действующих лиц» любого архитектурного ансамбля – фасады физически формирующие его пространство объектов.

Одной из особенностей улицы Леваневского является большое количество зелени, которая создает ощущение камерности и уюта отдельных дворики. Данная застройка относится к ярчайшему стилю начала XX века «дворковый стиль» и тенденции проектирования и строительства кварталов в европейских городах с разбивкой зеленых зон вокруг жилых кварталов. Наличие развернутого ландшафта предполагает включение его в общую концепцию формирования светового образа улицы.



Рисунок 1 – ул. Леваневского

Основная задача подсветки – акцентирование главного движения со стороны улицы Ленина в сторону к Парку культуры и отдыха с увеличением яркости освещения по мере значимости каждого памятника архитектуры в общей линии застройки. Монотонность и агрессивность преодолевается с помощью включения в визуальные кадры освещения объектов в различной цветовой гамме. Из общего образа зданий несколько выбивается фасад художественной школы. Его главный минус – монотонность, отсутствие цвета, даже в яркий день фасад кажется серым и тусклым. Этот минус возможно превратить в плюс с помощью медиафасадов, о которых было упомянуто ранее. Использование медиафасада именно на этом здании обусловлено не только архитектурными особенностями, но и непосредственной близостью к парку. Так как здесь сосредоточен поток молодежи, особенно летом, в праздничные и выходные дни, возможна трансляция различного рода информации.

Для того чтобы реализовать проект, необходимо четкое представление того, как будет выглядеть в реальности данная концепция, и это возможно в первую очередь благодаря компьютерной графике, а во вторую – благодаря созданию макетов. Наиболее наглядный метод 3d-визуализации, в котором возможно применение различных способов подсветки.

Сначала была создана 3d-модель зданий посредством программы Archicad, а затем в 3dsmax выставили свет. Создание 3d-модели сложный и трудоемкий процесс, которому предшествует обмер зданий. Основой для моделирования стали фотографии, схема расположения домов и обмерочные работы. Таким образом были созданы 4 здания: здание суда, музей истории города, здание бывшего казино и дом управления правоохранительных органов. Работа является полностью авторской и оригинальной. Все идеи возникли по ходу проектирования и изучения литературы.

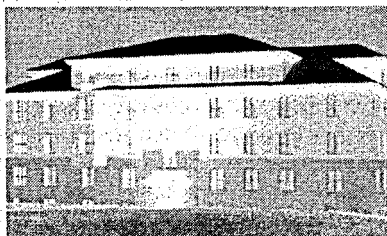


Рисунок 2 – Здание управления правоохранительных органов и Здание суда



Рисунок 3 – Музей истории города

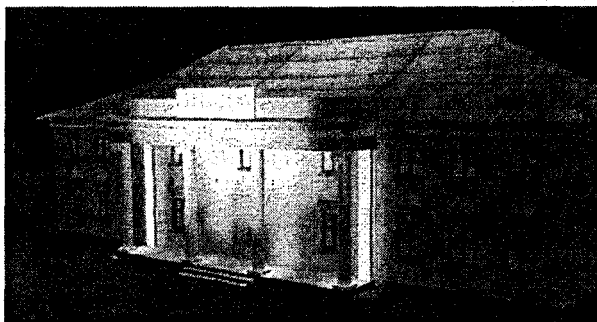


Рисунок 4 – Дом адвоката

В развивающихся городах возникает потребность не только в правильном функциональном решении жилого пространства, но и в создании уютного ночного образа. Как показывает практика, ускоренный темп жизни не дает нам днем насладиться архитектурой города, в котором мы живем, а вечером наша жизнь немного замедляется, и это дает нам возможность вечерних прогулок. Задача архитектора – обратить внимание, расставить акценты, подчеркнуть особенность, а может, даже приукрасить действительность.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Щелетков, Н.И. Световой дизайн города. – М.: Архитектура. – С, 2006.
2. Азиян, И.А. Искусство света в городе // в кн. «Огни Москвы». – М., 2006.
3. Ефимов, А.В. Дизайн архитектурной среды. – М.: Архитектура. – С, 2005.
4. Журнал «Светотехника» 2000-2005.
5. Ткачев, В.Н. Архитектурный дизайн. – М.: Архитектура. – С, 2006.
6. [www.illuminator.ru](http://www.illuminator.ru)
7. Власюк, Н.Н. Историческая застройка улицы Левоневского.

УДК 550.8:053:519.2+624.1

*Ратайко В.Е., Шведовская Д.В.*

*Научные руководители: к.т.н., доцент Лукша В.В., к.т.н., проф. Шведовский П.В.*

### ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗА ИСТОЩЕНИЯ РЕЧНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

#### ВВЕДЕНИЕ

В связи с увеличением потребления пресной воды и интенсивным преобразованием естественных природных ландшафтов, в последнее столетие остро стоит проблема оценки антропогенных изменений гидрологического режима водных объектов и контроля состояния водных ресурсов, через которые происходит важнейший аспект взаимодействия человека и окружающей среды.

Поэтому для успешного развития уникальных природных комплексов, как Белорусского Полесья, так и всей Беларуси, в свете современных социально-экономических задач необходимы исследования водных ресурсов, а также моделирования водных режи-

мов в связи с прогнозируемым изменением климата; для разработки и принятия компенсационных мероприятий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ и обобщение результатов исследований в этой области позволяют прийти к следующим выводам. На малых реках Белорусского Полесья произошло значимое изменение стока, вызванное хозяйственной деятельностью. На малых реках бассейна Припяти и частично Немана изменения стока (в сторону увеличения) вызваны в основном проведением масштабных водохозяйственных работ, а на малых реках в районах крупных городов, где сток уменьшился, – интенсивным отбором подземных вод. Изменения годового стока с крупных водосборов площадью в несколько тысяч квадратных километров невелики, лежат в пределах погрешностей расчетов ( $\pm 15\%$ ) и при оценке возможных изменений водных ресурсов их можно не учитывать. Наиболее заметно изменение водных ресурсов для малых водосборов, площадью до 2000-3000 км<sup>2</sup>.

Анализ пространственной структуры изменения годового стока позволяет утверждать, что в северной и центральной частях Беларуси, менее подверженных водохозяйственным воздействиям, изменений годового стока практически не произошло. В северо-западной части расходы воды незначительно уменьшились за период 1966-2008 годы. В то время как для южной и юго-западной частей Беларуси произошло увеличение годового стока за период 1966-2008 по сравнению с периодом до 1965 года.

Бесспорно, все эти изменения речного стока во многом обусловлены и наблюдающимися климатическими изменениями.

Одними из основных работ, посвященных изменению водных ресурсов в Беларуси в связи с изменением климата, являются работы [1, 2, 3]. Анализируя эти работы, можно предположить, что средняя глобальная приземная температура воздуха с конца XIX века до последнего времени возросла на 0,4 °С...0,5 °С, а количество осадков увеличилось на 6 %. Что касается изменения глобального климата на отдаленную перспективу, то однозначного прогноза не существует, т. к. результаты в значительной степени зависят от принятой гипотезы антропогенных воздействий (в первую очередь от скорости нарастания CO<sub>2</sub> в атмосфере) и от используемых модельных построений.

В целом для зоны северного полушария, соответствующей расположению речных бассейнов Беларуси, ожидается увеличение температуры воздуха на 0,3...3 °С, а изменение атмосферных осадков (увеличение или уменьшение) – на 3...15 % от современного уровня.

В соответствии с принятыми гипотезами авторами работы [2] сделаны следующие выводы: уменьшение атмосферных осадков на 5 % может привести к уменьшению среднего расхода за гидрологический год на 4,5...8 %, а уменьшение атмосферных осадков на 10 % – к уменьшению стока на 7...16 %. Увеличение температуры воздуха при неизменных осадках приводит к незначительному уменьшению стока (3 %). Одновременный учет увеличения температуры на 2 °С и уменьшения осадков на 10 % приводит к уменьшению речного стока на 13...14 %.

Для проведения численного эксперимента возможного антропогенного влияния на водные ресурсы рек Белорусского Полесья авторами [4] были отобраны 12 малых рек Брестской области. Основываясь на анализе существующих в настоящее время оценок возможного антропогенного изменения климата и водосборов рек, численный эксперимент проведен по следующим вариантам:

Вариант 1 – средняя годовая температура воздуха увеличивается на 2°C при неизменном количестве атмосферных осадков;

Вариант 2 – уменьшение годовых атмосферных осадков на 10 % с неизменной температурой воздуха;

Вариант 3 – годовые атмосферные осадки уменьшаются на 10 %, а средняя годовая температура воздуха увеличивается на 2°C;

Вариант 4 – заболоченность и залесенность водосбора уменьшаются, а густота речной сети и распаханность увеличиваются на 5, 10, 20 и 30 % при неизменных климатических условиях;

Вариант 5 – заболоченность и залесенность водосбора увеличиваются на 10 % каждая, а густота речной сети и распаханность уменьшается на 20 % при неизменных климатических условиях.

Исходя из расчетов, сделаны следующие выводы:

– по первому варианту речной сток уменьшится в среднем на 10 %, а суммарное испарение может увеличиться в среднем до 4,7 %;

– по второму варианту речной сток может уменьшиться на 24,5 %, а суммарное испарение – в среднем, на 5,4 %;

– по третьему варианту сток уменьшился в среднем на 29,3 %, а суммарное испарение уменьшится на 0,7 %;

– по четвертому варианту средние значения изменений речного стока для исследуемых рек-водосборов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние величины изменения величины речного стока по варианту 4, в % к существующему

Степень антропогенного воздействия	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV-X	Год
5%	-2,48	-0,41	-1,08	-0,40	1,90	2,24	1,29	-0,25	-0,69
10%	-4,88	-1,03	-2,16	-0,80	3,81	4,93	2,59	-0,50	-1,38
20%	-9,48	-2,47	-4,32	-2,41	7,14	9,87	5,18	-1,49	-2,98
30%	-13,89	-4,74	-7,19	-4,82	10,48	15,25	7,44	-2,72	-4,82

– по пятому варианту средние значения изменений речного стока для исследуемых рек-водосборов незначительны (1-5 %).

Таким образом, наиболее неблагоприятным развитием антропогенного изменения речного стока для рек Белорусского Полесья является третий вариант – может произойти его уменьшение до 45 %. При наложении на этот вариант 10 %-ного антропогенного воздействия на водосбор реки уменьшение среднего годового стока может достигнуть 50 %.

Так как основной водной артерией Полесья является р. Припять, то анализ многолетних колебаний ее стока представляет значительный интерес.

Наличие достаточно существенных случайных колебаний годового стока затрудняет выявление закономерностей их временного хода, выражающихся в форме длиннопериодических циклов изменения годового стока. Для выявления таких циклов использовался способ сглаживания и последовательного парного осреднения членов ряда по весовым коэффициентам.

Для этого общий период наблюдений за годовым стоком р. Припять – г. Мозырь (119 лет) разбивался на выборки объемом 33, 66 и 88 членов. Начало отсчета по каждой выборке смещалось на 11 членов, что обусловлено цикличностью солнечной активности.

На рисунке представлены автокорреляционные функции годового стока.

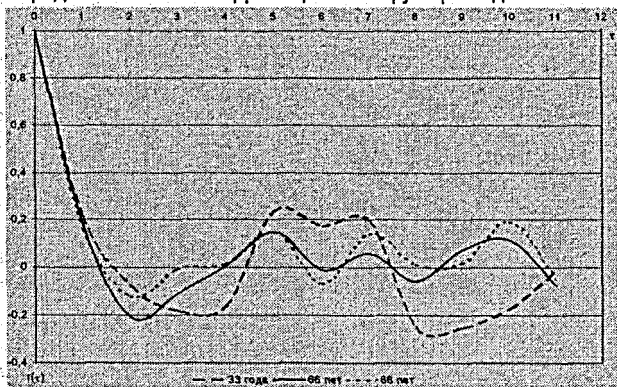


Рисунок 1 – Автокорреляционные функции годового стока р. Припять для выборок 33 года, 66 и 88 лет при смещении до 11 лет

На рисунке видно, что дисперсия колебаний автокорреляционных функций  $\gamma(\tau)$  последовательно уменьшается с увеличением числа членов ряда, принятых в расчетах. Можно полагать, что при дальнейшем увеличении длительности наблюдений за речным стоком дисперсия колебаний  $\gamma(\tau)$  будет уменьшаться.

Для практических расчетов необходима не экстремальная величина, а экономически обоснованная обеспеченная величина. Анализ обеспеченных величин отклонений от среднего дает возможность сделать вывод о стабильном уменьшении этих величин при обеспеченности  $P = 5\%$  и увеличении при  $P = 95\%$  при увеличении периода осреднения от 2-х к 3-летнему периоду осреднения. Максимальные отклонения от нормы для всех периодов осреднения наблюдаются на Припяти как для многоводных, так и для маловодных лет (таблица 2).

Таблица 2 – Расчетные отклонения от нормы стока р. Припять – г. Мозырь в зависимости от периода осреднения

Обеспеченность, %	Период осреднения			
	2-летний	3-летний	5-летний	10-летний
5	1,44	1,39	1,28	1,21
10	1,37	1,29	1,20	1,16
25	1,17	1,14	1,10	1,07
50	0,97	0,97	0,98	0,99
75	0,81	0,83	0,89	0,90
90	0,69	0,76	0,77	0,84
95	0,67	0,72	0,75	0,78

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Любые воздействия на водосборы рек должны быть выверенными и сбалансированными, особенно в свете прогрессирующих климатических изменений.

Расчеты подтвердили факт антропогенного изменения стока малых рек, вызванного крупномасштабными водохозяйственными работами в Белорусском Полесье, в то время



как изменения водного режима крупных рек (с площадями водосбора более 2000 км<sup>2</sup>) несущественны. Изменения различных видов стока характерны не только для рек Белорусского Полесья, но и для остальных рек Беларуси, что можно связать не столько с антропогенной нагрузкой, сколько с вековыми колебаниями гидрометеорологических элементов и речного стока. Поэтому влияние любой антропогенной составляющей на речной сток должно рассматриваться в каждом конкретном случае индивидуально.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ключева, К.А. Влияние осушительных мелиораций на годовой сток рек Белоруссии / К.А. Ключева, Ю.М. Покумейко // Метеорология и гидрология. – 1977. – № 1. – С. 25-35.
2. Гриневич, А.Г. Оценка влияния возможного глобального потепления на водные ресурсы и водное хозяйство / А.Г. Гриневич, В.Н. Плужников // Природные ресурсы. – 1997. – № 2. – С. 49-54.
3. Логинов, В.Ф. Изменение климата Полесья за период инструментальных наблюдений // Природные ресурсы. – 1998. – № 2. – С. 83-89.
4. Волчек, А.А. Антропогенное воздействие на водные ресурсы рек / А.А. Волчек, В.В. Лукша // Материалы международной конференции «Природное асяроддзе Палесья: сучасны стан і яго змены» / ОПП НАН Беларуси. – Брест, 2002. – Т. 1. – С. 177-182.

УДК 550.8:053:519.2+624.1

*Ратайко В.Е., Шведовская Д.В.*

*Научные руководители: к.т.н., доцент Лукша В.В., к.т.н., проф. Шведовский П.В.*

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

#### ВВЕДЕНИЕ

Всего 2% гидросферы приходится на пресные воды. Большая их часть – 85% – сосредоточена во льдах полярных зон и ледников. Поэтому реки были и остаются основным источником пресной воды. Но в современную эпоху они стали чаще транспортировать сточные воды. Но даже при самой совершенной очистке, включая биологическую, все растворенные неорганические вещества и до 10% органических загрязняющих веществ остаются в очищенных сточных водах. Такая вода вновь может стать пригодной для потребления только после многократного разбавления чистой природной водой.

Мировой водохозяйственный баланс показал, что на все виды водопользования тратится 2200 км<sup>3</sup> воды в год. На разбавление стоков уходит почти 20% ресурсов пресных вод мира. Расчеты на 2025 г. в предположении, что нормы водопотребления уменьшатся, а очистка охватит все сточные воды, показали, что все равно ежегодно потребуется 30-35 тыс. км<sup>3</sup> пресной воды на разбавление сточных вод. Это означает, что ресурсы полного мирового речного стока будут близки к исчерпанию. Ведь 1 км<sup>3</sup> очищенной сточной воды «портит» 10 км<sup>3</sup> речной воды, а не очищенной – в 3-5 раз больше. Количество пресной воды не уменьшается, но ее качество резко падает, она становится не пригодной для потребления.

С практической точки зрения, необходимо различать три вида загрязнения водных ресурсов: физическое, химическое и биологическое.

Под физическим понимается, прежде всего, тепловое загрязнение, образующееся в результате сброса подогретых вод, используемых для охлаждения на ТЭС. Сброс таких вод приводит к нарушению природного водного режима. Например, реки в местах сброса таких вод не замерзают. В замкнутых водоемах это приводит к уменьшению содержания кислорода, что приводит к гибели рыб и бурному развитию одноклеточных водорослей («цветению» воды). К физическому загрязнению относят также радиоактивные загрязнения.

Химическое загрязнение гидросферы возникает в результате попадания в нее различных химических веществ и соединений: тяжелых металлов (свинец, ртуть), удобрений (нитраты, фосфаты) и углеводородов (нефть, органические загрязнения).

Биологическое загрязнение создается микроорганизмами, часто болезнетворными. В водную среду они попадают со стоками химической, целлюлозно-бумажной, пищевой промышленности и животноводческих комплексов.

Отсюда следует, что изменения водных ресурсов необходимо рассматривать в двух аспектах: истощение и загрязнение поверхностных (речных) вод и гидравлически связанных с ними подземных вод.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для водопотребления в республике из поверхностных водных объектов (рек, озер, водохранилищ) забирается 41% воды, из подземных – 59%. В республике более 40% всей воды используется на хозяйственно-питьевое и около 30% – на производственное водоснабжение.

Ресурсы поверхностных вод определяются в основном суммарным стоком рек в средний по водности год и оцениваются для Беларуси в 58 км<sup>3</sup> в год. В многоводные годы суммарный речной сток увеличивается до 96 км<sup>3</sup>, в маловодные снижается до 36 км<sup>3</sup> в год. Большая часть речного стока (64%) формируется в пределах республики; приток воды с территорий соседних государств равен 21,6 км<sup>3</sup> в год [2].

В последние 5 лет от 40% до 60% поверхностных вод республики относятся к категории относительно чистых, 40-50% – умеренно-загрязненных и 2-10% – грязных или очень грязных [3]. Ежегодно в реки и озера сбрасывается более 1000 млн м<sup>3</sup> сточных вод, которые содержат загрязняющие вещества.

Наиболее загрязненной является река Свислочь, загрязнение которой носит постоянный характер. Превышение ПДК в Свислочи по соединениям меди составляют 9 раз, азоту нитритному – 8-10, азоту аммонийному 7-9 раз [3].

Второе место по индексу загрязненности воды занимает река Березина. Значительное превышение ПДК наблюдается в ней по соединениям железа и меди, аммонийному азоту (в 6 раз), фенолам и др. Даже в верховьях на территории Березинского биосферного заповедника (который часто фигурирует как нулевая точка отсчета при оценке антропогенной нагрузки) среднегодовые концентрации загрязняющих веществ составляют 1-2 ПДК.

Воды Немана характеризуются довольно высоким содержанием железа, меди, нитрита азота, цинка и марганца, значительно превышающим ПДК. Подобная картина наблюдается и в отношении реки Мухавец, а в районе города Жабинка концентрация общего железа в ней достигает 11 ПДК.

Вода Днепра уже с территории Смоленской области поступает значительно загрязненной, особенно по железу, меди, цинку, фенолам, нитритному азоту. По мере протекания по территории Беларуси загрязнение вод этой реки продолжает увеличиваться.

Припять характеризуется сходным набором веществ, содержание которых значительно превышает ПДК. При неблагоприятных гидрометеорологических условиях иногда наблюдается нарушение кислородного режима. В водах Горыни в районе г. Речица содержится нитритного азота за последние годы увеличилось в 5 раз, порой превышая ПДК в 37 раз [3].

В подземных водах наиболее загрязнен первый от поверхности водоносный горизонт, который используется для питьевого водоснабжения сельского населения. Наиболее высокое нитратное загрязнение подземных вод отмечается в южных районах страны, где они залегают близко к поверхности и где преобладают легкопроницаемые отложения. Загрязнение более глубоких водоносных горизонтов встречается локально и обычно не отличается значительной интенсивностью.

В свое время природные комплексы выступали в роли естественных фильтров и справлялись с очисткой, однако только до определенной пороговой величины. В результате в настоящее время в 8 из 10 колодцев почти в каждом населенном пункте по всей республике наблюдается устойчивое превышение ПДК по нитратам (иногда в 7-8 раз). Такую воду пить нельзя. Именно от воздействия нитратов увеличивается частота раковых опухолей, ослабляется центральная нервная система, снижается реакция на световые и слуховые раздражители, наблюдается острый токсикоз. Этому воздействию подвергается 75-80% населения Беларуси, что подтверждается как государственными, так и независимыми исследованиями.

Проблему для питьевого водоснабжения в Беларуси создает обусловленное природными факторами повышенное содержание в подземных водах железа. Более 70% артезианских скважин на территории страны имеют концентрации данного элемента, превышающие гигиенические нормы. Наиболее эта проблема проявляется в Полесье, где доля таких скважин более 90%.

Если рассматривать влияние загрязнения речных и озерных вод на их живых обитателей, то следует отметить очень широкое разнообразие последствий.

Первичные критические нарушения в функционировании живых организмов под действием загрязняющих веществ возникают на уровне биологических эффектов: после изменения химического состава клеток нарушаются процессы дыхания, роста и размножения организмов, возможны мутации и канцерогенез; нарушаются движение и ориентация в морской среде. Морфологические изменения нередко проявляются в виде разнообразных патологий внутренних органов: изменений размеров, развития уродливых форм. Особенно часто эти явления регистрируются при хроническом загрязнении.

Все это отражается на состоянии отдельных популяций, на их взаимоотношениях. Таким образом, возникают экологические последствия загрязнения. Важным показателем нарушения состояния экосистем является изменение числа высших таксонов – рыб. Существенно изменяется фотосинтезирующее действие в целом. Растет биомасса микроорганизмов, фитопланктона, зоопланктона. Это характерные признаки эвтрофикации водоемов, в некоторых за последние 10-20 лет биомасса микроорганизмов выросла почти в 10 раз. Бедствием стали «красные приливы», следствие эвтрофикации, при которой бурно развиваются микроскопические водоросли, а затем исчезает кислород в воде, гибнут водные животные и образуется огромная масса гниющих остатков.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенные исследования позволяют отметить, что как нашей стране, так и всему человечеству необходимо изменить стратегию водопользования. Необходимость за-

ставляет изолировать антропогенный водный цикл от природного. Практически это означает переход на замкнутое водоснабжение, на маловодную или малоотходную, а затем на «сухую» или безотходную технологию, сопровождающуюся резким уменьшением объемов потребления воды и очищенных сточных вод.

Проблема антропогенного воздействия на окружающую среду сложна и многогранна, она имеет глобальный характер. Но решать ее нужно на трех уровнях: государственном, региональном и глобальном.

На первом уровне каждая страна должна решать свои экологические проблемы. На региональном уровне соседние страны должны осуществлять совместные мероприятия, имеющие общие природоохранные цели. На глобальном уровне необходимо объединить усилия всех стран мирового сообщества.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волчек, А.А. Антропогенное воздействие на водные ресурсы рек / А.А. Волчек, В.В. Лукша // Материалы международной конференции «Природное асыроддзе Палесся: сучасны стан і яго змены» / ОПП НАН Беларуси. – Брест, 2002. – Т.1. – С. 177-182.

2. Масловский, О. Экологические проблемы Беларуси / О. Масловский, Е. Ярошевич. – Мн.: Тэхналогія, 2001. – 74 с.

3. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2008 г. – Мн.: Минсктиппроект, 2009. – 284 с.

4. Шведовский, П.В. Особенности оценки и учета неопределенностей техногенных изменений экосистем и биосферных ресурсов при природообустройстве / П.В. Шведовский, А.А. Волчек, Д.В. Шведовская. Сборник трудов МНТК «Проблемы водоснабжения, водоотведения и энергосбережения в Западном регионе Республики Беларусь. – Брест: БрГТУ. – 2010. – С. 36-40.

УДК 624.01

*Семенюк О.С.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Игнатюк В.И.*

### О СТАТИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ОДНОПРОЛЕТНЫХ ОДНОЭТАЖНЫХ РАМ НА ВЕТРОВЫЕ НАГРУЗКИ

Рассматривается однопролетная одноэтажная рама, состоящая из двух стоек постоянного сечения ( $EJ = const$ ), заземленных внизу, на которые шарнирно опирается сегментная ферма кругового очертания, представляемая на расчетной схеме рамы в виде затяжки (рис. 1). Рама загружается ветровой нагрузкой, погонная величина которой до определенной высоты будет постоянной (равномерно распределенные нагрузки напора и отсоса  $q_1$  и  $q_3$ ), а выше будет изменяться по трапецеидальному закону – напор от  $q_1$  до  $q_2$ , отсос от  $q_3$  и  $q_n$  (рис. 1). На круговое покрытие (сегментными фермами) небольшой высоты ( $h_p / \ell = 1/6...1/7$ ) ветровая нагрузка будет создавать [1] откос с обеих сторон, который может быть приведен к узловым силам в местах опирания ферм. Вертикальные составляющие этих сил будут вызывать только сжатие в стойках, поэтому здесь рассматриваться не будут. Горизонтальные составляющие их обозначим  $F_1$  и  $F_2$  (рис. 1).

Расчет рамы выполним методом сил [2]. Зависимости получим в общем виде, что позволит их использовать для расчета подобных рам различных размеров. Система имеет

одну лишнюю связь, и основную систему метода сил получим разрезанием затяжки, обозначив в качестве неизвестного продольное усилие в затяжке  $F_x$ . Каноническое уравнение метода сил имеет вид

$$\delta_{11} F_x + \Delta_{1p} = 0 \quad (1)$$

Единичная эпюра и грузовые эпюры изгибающих моментов отдельно от распределенных нагрузок и силы  $F_1$  (на основе принципа независимости действия сил) на левой стойке показаны на рис. 2. На правой стойке эти эпюры легко получаются из представленных для левой стойки.

Единичное перемещение по направлению силы  $F_x$  будет равно

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{M_1^2 dx}{EJ} = \frac{2h^3}{3EJ} \quad (2)$$

Для вычисления грузового коэффициента вначале найдем для левой стойки ординаты грузовой эпюры изгибающих моментов от действия внешних нагрузок в четырех сечениях (рис. 2, б, в), чтобы можно было использовать для вычисления интегралов Мора формулу Симпсона [2]:

$$\begin{aligned} M_{p1} &= \left( \frac{q_1 + q_2}{2} \cdot \frac{h_2}{2} \right) \cdot \frac{h_2}{4} + \left[ \frac{1}{2} (q_2 - q_1) \frac{1}{2} \frac{h_2}{2} \right] \cdot \frac{2}{3} \frac{h_2}{2} - F_1 \frac{h_2}{2} = \frac{h_2^2}{48} (q_1 + 5q_2) - \frac{1}{2} F_1 h_2; \\ M_{p2} &= \frac{1}{2} q_1 h_2^2 + \left[ \frac{1}{2} (q_2 - q_1) h_2 \right] \cdot \frac{2}{3} h_2 - F_1 h_2 = \frac{h_2^2}{6} (q_1 + 2q_2) - F_1 h_2; \\ M_{p3} &= \frac{1}{2} q_1 \left( \frac{1}{2} h_1 + h_2 \right)^2 + \left[ \frac{1}{2} (q_2 - q_1) h_2 \right] \left( \frac{2}{3} h_2 + \frac{1}{2} h_1 \right) - F_1 \left( \frac{h_1}{2} + h_2 \right) = \\ &= \frac{h_2^2}{6} (q_1 + 2q_2) + \frac{h_1 h_2}{4} (q_1 + q_2) + \frac{1}{2} h_1^2 q_1 - \frac{1}{2} F_1 (h_1 + h_2); \\ M_{p4} &= (q_1 \cdot h) \frac{h^2}{2} + \frac{1}{2} (q_2 - q_1) h_2 \left( h - \frac{1}{3} h_2 \right) - F_1 h = \frac{1}{2} q h^2 + \frac{h_2}{6} (q_2 - q_1) (2h + h_1) - F_1 h. \end{aligned} \quad (3)$$

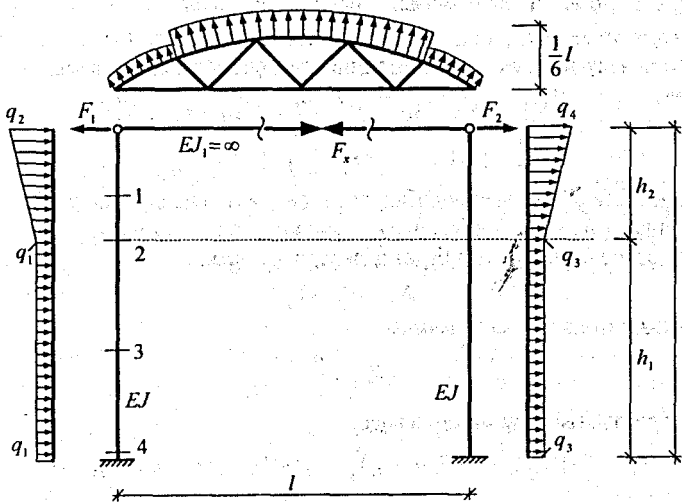


Рисунок 1 – Расчётная схема рамы

Для правой стойки выражения изгибающих моментов легко получить из представленных зависимостей, если заменить  $q_1$  на  $q_3$ ,  $q_2$  на  $q_n$ ,  $F_1$  на  $F_2$  и перед слагаемыми с силой  $F_1$  поменять знак на противоположный.

Вычисление грузового перемещения  $\Delta_{1p}$  выполним по формуле Мора с использованием формулы Симпсона

$$\Delta_{1p}^{лев} = \sum \int \frac{\overline{M}_1 M_p dx}{EJ} = \frac{h_2^2}{6EJ} (4\overline{M}_1^{(1)} \cdot M_{p1} + \overline{M}_1^{(2)} \cdot M_{p2}) + \frac{h_1}{6EJ} (4\overline{M}_1^{(2)} M_{p2} + 4\overline{M}_1^{(3)} M_{p3} + \overline{M}_1^{(4)} M_{p4})$$

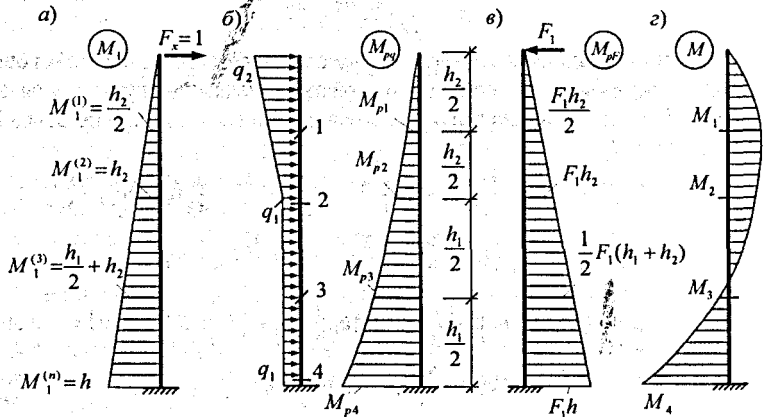


Рисунок 2 – Единичная, грузовая

Подставляя в это выражение значения ординат из единичной эпюры  $\overline{M}_1$  (рис. 2,а), зависимости для ординат грузовой эпюры изгибающих моментов (3), после несложных преобразований получим грузовое перемещение для левой половины рамы в виде

$$\Delta_{1p}^{лев} = \frac{h_2^3}{3EJ} \left[ \frac{h_2}{48} (5q_1 + 13q_2) - F_1 \right] + \frac{h_1}{6EJ} \left\{ h_2^3 (q_1 + 2q_2) + \frac{3}{4} h_1^3 q_1 + h_1 h_2^2 (2q_1 + 2,5q_2) + h_1^2 h_2 (2q_1 + q_2) - 2F_1 [h^2 + h_2 (h + h_2)] \right\}$$

Для правой части выражение подобно, если заменить  $q_1$  на  $q_3$ ,  $q_2$  на  $q_n$ ,  $F_1$  на  $F_2$  и поменять знак «плюс» перед слагаемыми с нагрузками  $q$  на знак «минус».

Полное грузовое перемещение будет определяться суммой

$$\Delta_{1p} = \Delta_{1p}^{лев} + \Delta_{1p}^{прав}$$

Неизвестное метода сил найдем из (1)

$$F_x = -\frac{\Delta_{1p}}{\delta_{11}}$$

и после преобразований получим его в виде:

$$F_x = \frac{h_1}{4h^3} \left\{ h_2^3 [q_3 - q_1 + 2(q_n - q_2)] + 0,75h_1^3 (q_3 - q_1) + h_1 h_2^2 [2(q_3 - q_1) + 2,5(q_n - q_2)] + h_1^2 h_2 [2(q_3 - q_1) + q_n - q_2] + 2(F_1 + F_2) [h^2 + h_2 (h + h_2)] \right\} +$$

$$+ \frac{h_2^3}{2h^3} \left\{ \frac{h_2}{48} h_2^2 [q_3 - q_1 + 2(q_n - q_2)] + F_1 + F_2 \right\}.$$

Выражения для вычисления значений окончательной эпюры изгибающих моментов получим согласно зависимости

$$M_i = \overline{M}_i^{(0)} \cdot F_x + M_{pi}. \quad (5)$$

Вид эпюры изгибающих моментов для рассматриваемой рамы на левой стойке показан на рис. 2,г.

**Заключение.** В общем виде получены выражения и зависимости для расчета одноэтажных рам, ригель которых имеет выпуклое криволинейное очертание, на ветровую нагрузку. Для получения зависимостей и выражений использован метод сил.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07–85 / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
2. Борисевич, А.А. Строительная механика: учебное пособие / А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович, В.И. Игнатюк. – Мн.: БНТУ, 2009. – 756 с.

УДК 624.139.02

*Семенюк О.С.*

*Научный руководитель: доцент Чернюк В.П., доцент Семенюк С.М.*

#### ЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ХОЛОДИЛЬНЫХ КАМЕР В ГРУНТЕ

**Введение.** Охлаждение и замораживание различных материалов, грунтов, продуктов и т.д. используется во многих отраслях народного хозяйства страны, в том числе для разнообразных целей в строительстве.

В строительстве это используется для улучшения разработки грунтов при производстве земляных работ; в мелиорации при отрывке каналов, осушении и обводнении территорий (мёрзлые грунты разрабатываются лучше болотистых и водонасыщенных, на мёрзлых грунтах улучшается проходимость землеройной и другой строительной техники, повышается устойчивость грунтов); в пищевой и перерабатывающей промышленности при строительстве овоще- и клубнехранилищ, холодильных установок для хранения мясных, рыбных и фруктовых изделий, а также других продуктов питания; в нефтяной и газовой промышленности при прокладке магистральных трубопроводов, строительстве линейных и нефтегазовых сооружений, при транспортировании энергоносителей (нефти и газа); в горном деле при проходке стволов шахт в слабых и плавунных грунтах, а также при строительстве жилых зданий и промышленных сооружений.

**Основная часть.** Согласно строительным нормам сохранение грунтов оснований в мёрзлом состоянии и понижение их температуры, охлаждение и замораживание могут быть обеспечены путём устройства холодных подполий, холодных первых этажей здания, укладки охлаждающих труб, прокладки вентилируемых каналов, установки ветровых, жидкостных и парожидкостных автоматически действующих охлаждающих устройств и т.п.

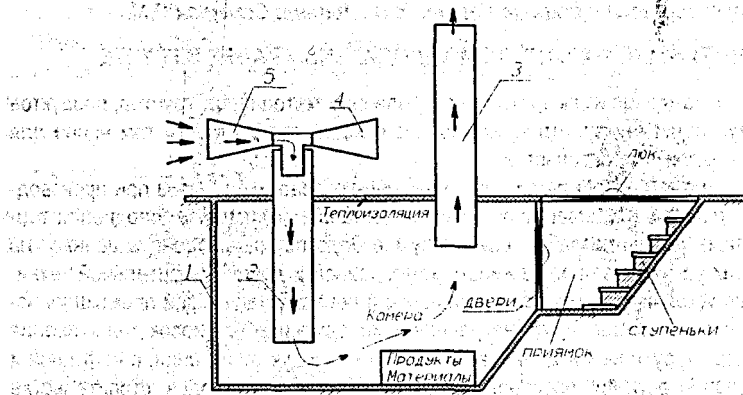
Охлаждающие трубы и каналы (проходные и непроходные) применяются для промышленных зданий и сооружений с повышенными нагрузками на полы, когда устройство

подполий экономически нецелесообразно, а также для прокладки инженерных коммуникаций. В отдельных случаях охлаждающие каналы и трубы применяются в сочетании с вентилируемым подпольем, устраиваемым под частью или под всем первым этажом здания.

Воздушные и охлаждающие автоматически действующие жидкостные и парожидкостные установки применяются как вспомогательные или как основные средства, предназначенные для сохранения заданного температурного режима грунтов основания, для создания мерзлотных завес и т.п.

Основным типом холодного подполья, наиболее оправдавшим себя на практике при строительстве современных зданий и сооружений является подполье с круглогодичной (или сезонной зимней) вентиляцией воздуха. Грунты основания в подпольях этого типа охлаждаются в зимнее время за счёт циркуляции холодного наружного воздуха, который снимает тепло непосредственно с поверхности грунта, не покрытого (не утепленного) снежным покровом. Вследствие того, что в подполье быстрее происходит промерзание оттаявшего за лето слоя грунта, раньше начинается охлаждение грунта через промерзший сезоннооттаивающий слой. Затенение зданием поверхности грунта в подполье уменьшает летний прогрев основания, а вентиляция холодного наружного воздуха с отрицательной температурой в подполье зимой способствует общему понижению температуры.

В этом направлении в БрГТУ на кафедре ТСП разработано несколько конструкций устройств для охлаждения грунта [1;2], а также холодильных камер для замораживания продуктов [3;4], две из которых представлены на рис. 1, 2.



1 – теплоизолированное помещение (камера); 2 – подающая труба; 3 – вытяжная труба; 4 – флюгер; 5 – воздухозаборник

Рисунок 1 – Холодильная камера в грунте без освещения (патент РБ №5073)

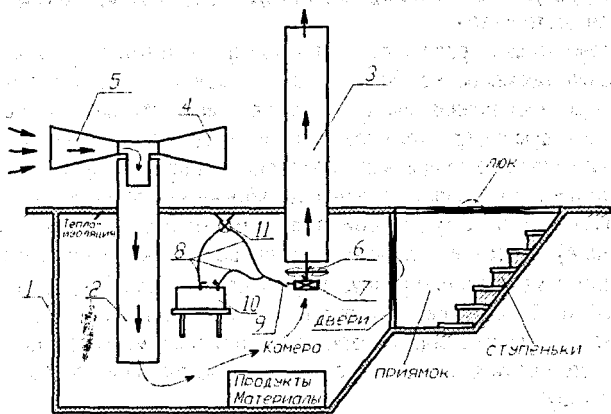
Холодильные камеры могут работать только зимой (при наступлении отрицательных температур наружного воздуха) в режиме естественной и принудительной циркуляции воздуха (при снятом и одетом флюгере и воздухозаборнике). Холодный воздух, попадая по подающей трубе в камеру, охлаждает в камере воздух и содержащиеся в нём материалы, продукты, затем через вытяжную трубу вытягивается на поверхность.

В режиме принудительной циркуляции (при одетом на подающую трубу флюгере с воздухозаборником) воздух принудительно попадает в воздухозаборник (при этом флю-



гер всегда настраивает воздухозаборник против ветра), затем – в подающую трубу и камеру, охлаждая её объём, далее в вытяжную трубу и на поверхность. Для лучшей вытяжки и прокачки воздуха низ вытяжной трубы должен быть расположен выше низа подающей трубы (и чем выше, тем лучше), а верх вытяжной трубы – выше верха подающей трубы (и чем выше, тем эффективнее). Холодильная камера работает только зимой, на лето флюгер с воздухозаборником снимаются, а верхние концы обеих труб закрываются (паклей, ватой).

Во второй конструкции холодильной камеры (рис. 2) дополнительно предусмотрено автономное электроосвещение внутреннего помещения. При попадании воздуха в вытяжную трубу последний вращает ветряную вертушку, а та, в свою очередь, электрогенератор, который вырабатывает электрический ток и по электрическому кабелю подаёт его на осветительные приборы (электрические лампочки) через выключатель и (или) – при избытке электрического тока на аккумулятор.



1 – теплоизолированное помещение (камера); 2 – подающая труба; 3 – вытяжная труба; 4 – флюгер;  
 5 – воздухозаборник; 6 – ветряная вертушка; 7 – электрогенератор; 8 – электрический кабель;  
 9 – выключатель; 10 – аккумулятор; 11 – осветительные приборы (лампочки)  
 Рисунок 2 – Холодильная камера в грунте без освещения (патент РБ №5073)

Камеры работают в автономном режиме, независимо от внешних энергопоставщиков, наличия ветра (и даже, при его отсутствии, но при наличии тяги). Такие конструкции охлаждающих камер можно отнести к разряду энергосберегающих, что актуально в настоящее время.

Две другие технические разработки охлаждающих устройств, предназначенные для замораживания грунта под отдельностоящие опоры (например, трубопроводов, линий электропередач, газонефтепромысловых сооружений) и массивов грунта под промышленные, гражданские и жилые здания с большими тепловыделениями в основании и в других целях, представлены на рис. 3, 4. Обе конструкции обладают высокой холодопроизводительностью зимой, простотой изготовления, летом они свою работу автоматически прекращают.

Первое устройство содержит частично заглубленную в грунт, заполненную хладоносителем (керосином), закрытую с обоих торцов металлическую трубу радиусом  $R$ , внут-

ри которой размещена пластмассовая труба радиусом  $r$  (рис. 3). Соотношение  $r:R \approx 0,7:1$ . Так как  $2\pi r^2 = \pi R^2$  или  $1 = 0,7^2 + 0,7^2$ . Пластмассовая труба установлена внутри металлической трубы ассиметрично с эксцентриситетом  $C \approx R-r$ , т.е. «стенка к стенке» и соединена с ней заклёпками. В нижней части пластмассовой трубы имеется сквозное отверстие для пропуска хладоносителя из металлической в пластмассовую трубу во время его циркуляции. Площадь сечения отверстия равна площади сечения поперечно сечения пластмассовой трубы, т.е.  $F = \pi(R^2 - r^2) \approx 0,5\pi R^2$ .

Устройство работает следующим образом. Зимой, при наступлении отрицательных температур холодного наружного воздуха, керосин, охлаждаясь в надземной части металлической трубы, по зазору между металлической и пластмассовой трубами опускается в нижнюю (подземную) часть устройства, охлаждая и замораживая окружающий грунт. Нагреваясь, хладоноситель далее через сквозное отверстие поступает внутрь пластмассовой трубы и, поднимаясь вверх через верхний торец пластмассовой трубы попадает в наружную часть металлической трубы. Далее цикл охлаждения-нагрева хладоносителя повторяется.

Летом установка свою работу автоматически прекращает, превращаясь в однотрубную конструкцию, так как более тёплый и лёгкий хладоноситель остаётся в верхней части устройства до наступления зимы. Установка зимой работает как производительная двухтрубная конструкция, при этом пластмассовая труба препятствует смешиванию потоков нагретого и холодного хладоносителя и теплопередаче между ними.

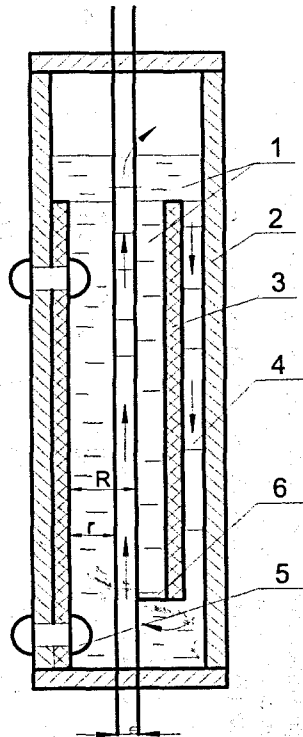
Второе устройство включает частично заглубленную в грунт, заполненную хладоносителем (керосином), закрытую с обоих торцов металлическую трубу с внутренним радиусом  $R$  (рис. 4). Внутри металлической трубы размещена пластмассовая труба с открытыми торцами и внутренним радиусом  $r$ , при соотношении  $R:r \approx 1:0,7$ . Верхний торец пластмассовой трубы выполнен раструбным в виде лепестка, а над ним установлено запорное приспособление в виде плавающего зимой пластмассового шарообразного поплавка (тонущего летом клапана), выдавливая его из гнезда и превращая в поплавок в металлической трубе.

Зимой при отрицательных температурах наружного воздуха керосин интенсивно охлаждается в надземной части металлической трубы, опускается вниз, охлаждая и замораживая грунт, нагревается и через нижний торец пластмассовой трубы с определенной скоростью попадает в раструб (лепесток) под низ шарообразного поплавка (клапана), выдавливая его из гнезда и превращая в поплавок в металлической трубе.

Летом при наступлении положительных температур воздуха более нагретый и легкий керосин остается в верхней части металлической трубы, а более холодный и тяжелый – в нижней её части. Циркуляция хладоносителя прекращается, поплавок оседает в раструб (лепесток) за счет более тяжелой оболочки в своё гнездо, превращаясь в клапан, уменьшая (и даже исключая) растопление окружающего грунта.

Обе конструкции просты в изготовлении, автономны, холодопроизводительны и не требуют никаких затрат внешней энергии.

**Заключение.** В данной статье рассмотрены существующие способы охлаждения и замораживания грунтов, предложены две новые автономные энергосберегающие холодильные камеры в грунте, относящиеся к разряду ресурсосберегающих, позволяющие получить определённый технико-экономический эффект.



1 – хладоноситель (керосин); 2 – металлическая труба; 3 – пластмассовая труба; 4 – зазор; 5 – заклёпки; 6 – сквозное отверстие  
 Рисунок 3 – Устройство для замораживания грунта (патент РБ № 5455)

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Устройство для замораживания грунта: патент РФ на полезную модель №5455 / Авт. П.С. Пойта, В.П. Чернюк, С.М. Семенюк, В.А. Тимошук, О.С. Семенюк. М. кл. – E02D 3/00.
2. Устройство для замораживания грунта: патент РФ на полезную модель №5456 / П.С. Пойта, В.П. Чернюк, С.М. Семенюк, С.М. Ивасюк, О.С. Семенюк. М. кл. – E02D 3/00.
3. Холодильная камера: патент РФ на полезную модель №5073 / П.С. Пойта, В.П. Чернюк, С.М. Семенюк, В.Н. Пчёлин, Н.А. Сташевская. М. кл. – E02D 3/00.
4. Холодильная камера: патент РФ на полезную модель №5630 / П.С. Пойта, В.П. Чернюк, С.М. Семенюк, О.С. Семенюк. М. кл. – E02D 29/00.

УДК 681.3: 634.04

Семенюк О.С.

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

### СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ БЕСШАРНИРНЫХ АРОК НА ДЕЙСТВИЕ РАДИАЛЬНО НАПРАВЛЕННЫХ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЁННЫХ НАГРУЗОК

В практике проектирования находят применение длинные цилиндрические оболочки, выполненные из лёгких материалов. Для таких оболочек особую роль играет ветровая нагрузка, действующая в радиальных направлениях [1]. Расчётная схема длинной цилиндрической оболочки может быть сведена к бесшарнирной арке. Поэтому расчёт бесшарнирных арок кругового очертания на действие радиально направленных равномерно распределённых нагрузок актуален и представляет интерес.

**Постановка задачи.** Рассматривается задача определения усилий в бесшарнирных арках постоянной жёсткости кругового очертания при статическом действии радиально направленных равномерно распределённых нагрузок (рис. 1). Для решения задачи используется метод сил с переносом неизвестных в упругий центр (рис. 2). При определении перемещений наряду с изгибающими моментами учитываются поперечные и продольные силы. Так как рассматриваются круговые арки, для упрощения вычисления интегралов Мора воспользуемся полярной системой координат. За полюс принимается точка в центре окружности (точка О), а в качестве оси, относительно которой будем отсчитывать угол ( $\theta$ ), примем вертикальную ось, направленную от полюса вертикально вверх.

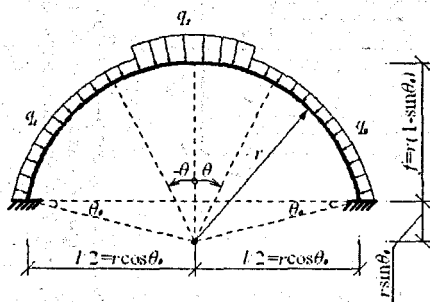


Рисунок 1 – Расчётная схема арки

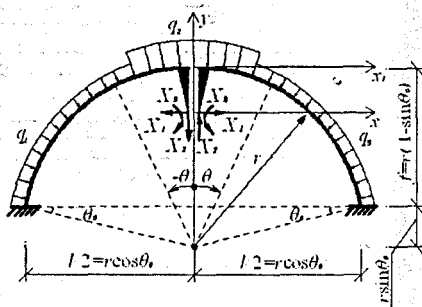


Рисунок 2 – Основная система метода сил

Получение расчётных зависимостей. Зависимость между декартовой  $(x, y)$  и полярной  $(r, \theta)$  координат здесь имеет вид:

$$\begin{cases} x = r \sin \theta; \\ y = c - r(1 - \cos \theta) \end{cases}$$

где  $c$  – расстояние от верхней средней точки до упругого центра, определяемое выражением [2]:

$$c = \frac{\int y_1 ds}{\int \frac{ds}{EI}} = \frac{\int \frac{[r(1 - \cos \theta)]rd\theta}{EI}}{\int \frac{rd\theta}{EI}} = \frac{\int [r(1 - \cos \theta)]d\theta}{\int \frac{d\theta}{EI}}$$

В случае  $EI = \text{const}$ , получим:

$$c = r - r \frac{\cos \theta_0}{\frac{\pi}{2} - \theta_0}$$

Бесшарнирная арка как статически неопределимая система имеет три лишних связи. Система канонических уравнений будет иметь вид [2]:

$$\begin{cases} \delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} = 0 \\ \delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} = 0 \\ \delta_{33}X_3 + \Delta_{3p} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Выражения усилий в сечениях от действия единичных неизвестных записываются в виде:

$$\begin{aligned} \bar{M}_1 = c - r(1 - \cos \theta); \quad \bar{Q}_1 = \sin \theta; \quad \bar{N}_1 = -\cos \theta; \\ \bar{M}_2 = r \sin \theta; \quad \bar{Q}_2 = -\cos \theta; \quad \bar{N}_2 = -\sin \theta; \\ \bar{M}_3 = 1; \quad \bar{Q}_3 = 0; \quad \bar{N}_3 = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Единичные перемещения вычислим по формуле Мора [2]:

$$\delta_{ik} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\bar{M}_i \bar{M}_k ds}{EI} + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \eta \frac{\bar{Q}_i \bar{Q}_k ds}{GA} + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\bar{N}_i \bar{N}_k ds}{EA}, \quad (3)$$

где  $EI$ ,  $GA$ ,  $EA$  – жёсткости сечений арки соответственно на изгиб, сдвиг и растяжение-сжатие;  $\eta$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений по высоте сечений при изгибе.

Подставив выражение (2) в (3), учитывая, что  $ds = rd\theta$  (рис. 2) и выполнив интегрирование, получим единичные перемещения в виде:

$$\begin{aligned} \delta_{11} = \frac{r}{EI} \left\{ \left( \frac{\pi}{2} - \theta_0 \right) [2(c - r)^2 + r^2] + 4r(c - r) \cos \theta_0 + \frac{1}{2} r^2 \sin 2\theta_0 \right\} + \\ + \eta \frac{r}{GA} \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \theta_0 \right) - \frac{1}{2} \sin 2\theta_0 \right] + \frac{r}{EA} \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \theta_0 \right) + \frac{1}{2} \sin 2\theta_0 \right]; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \delta_{22} = \frac{r^3}{EI} \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \theta_0 \right) - \frac{1}{2} \sin 2\theta_0 \right] + \frac{r}{GA} \eta \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \theta_0 \right) + \frac{1}{2} \sin 2\theta_0 \right] + \frac{r}{EA} \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \theta_0 \right) - \frac{1}{2} \sin 2\theta_0 \right]; \\ \delta_{33} = \frac{2r}{EI} \left( \frac{\pi}{2} - \theta_0 \right). \end{aligned}$$

Грузовые перемещения найдём по формулам Мора [2]:

$$\Delta_{ip} = \sum \int \frac{\bar{M}_i M_p ds}{EI} + \sum \int \eta \frac{\bar{Q}_i Q_p ds}{GA} + \sum \int \frac{\bar{N}_i N_p ds}{EA}. \quad (5)$$

Выражения внутренних сил в произвольном сечении от действия внешних радиально направленных равномерно распределённых нагрузок определяется выражениями:

$$\begin{aligned}
 M_p = & \sum_{i=1}^{n_i^*} q_i r^2 [\sin \theta (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') + \cos \theta (\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'')] + q_i r^2 (1 - \sin \theta \sin \theta_i'' - \cos \theta \cos \theta_i'') - \\
 & - \sum_{j=1}^{n_j^*} q_j r^2 [\sin \theta (\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') + \cos \theta (\cos \theta_j^* - \cos \theta_j'')] - q_j r^2 (1 - \sin \theta \sin \theta_j'' - \cos \theta \cos \theta_j''); \\
 Q_p = & - \sum_{i=1}^{n_i^*} q_i r [\cos \theta (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') - \sin \theta (\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'')] + \\
 & + q_i r (\cos \theta \sin \theta_i'' - \sin \theta \cos \theta_i'') + \sum_{j=1}^{n_j^*} q_j r [\cos \theta (\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') - \sin \theta (\cos \theta_j^* - \cos \theta_j'')] + \\
 & + q_j r (\cos \theta \sin \theta_j'' - \sin \theta \cos \theta_j'');
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 N_p = & - \sum_{i=1}^{n_i^*} q_i r [\sin \theta (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') + \cos \theta (\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'')] - q_i r (1 - \sin \theta \sin \theta_i'' - \cos \theta \cos \theta_i'') - \\
 & - \sum_{j=1}^{n_j^*} q_j r [\sin \theta (\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') + \cos \theta (\cos \theta_j^* - \cos \theta_j'')] + q_j r (1 - \cos \theta \cos \theta_j'' - \sin \theta \sin \theta_j'').
 \end{aligned}$$

Подставив (2) и (6) в (5) и выполнив интегрирование, получим выражения для определения грузовых перемещений:

$$\begin{aligned}
 \Delta_{1p} = & \frac{r^3}{EI} \sum_{i=1}^{n_i^*} q_i \{ (c-r)(\theta_i^* - \theta_i'') + (c-r) \sin \theta_i'' (\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'') - (c-r) \cos \theta_i'' (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') + \\
 & + r(\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') - \frac{1}{2} r \sin \theta_i'' (\sin^2 \theta_i^* - \sin^2 \theta_i'') - \frac{1}{2} r \cos \theta_i'' (\theta_i^* - \theta_i'') - \frac{1}{4} r \cos \theta_i'' (\sin 2\theta_i^* - \sin 2\theta_i'') \} + \\
 & + \frac{r^3}{EI} \sum_{i=1}^{n_i^*} q_i \{ (c-r)(\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') (\cos \theta_i^* - \sin \theta_0) + (c-r)(\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'') (\cos \theta_0 - \sin \theta_i^*) + \\
 & + \frac{r}{2} (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') (\cos^2 \theta_0 - \sin^2 \theta_i^*) - \frac{r}{2} (\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'') (\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \theta_i^*) + \frac{r}{4} (\sin 2\theta_0 - \sin 2\theta_i^*) \} + \\
 & + \frac{r^3}{EI} \sum_{j=1}^{n_j^*} q_j \{ (c-r)(\theta_j^* - \theta_j'') + (c-r) \sin \theta_j'' (\cos \theta_j^* - \cos \theta_j'') - (c-r) \cos \theta_j'' (\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') + \\
 & + r(\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') - \frac{1}{2} r \sin \theta_j'' (\sin^2 \theta_j^* - \sin^2 \theta_j'') - \frac{1}{2} r \cos \theta_j'' (\theta_j^* - \theta_j'') - \frac{1}{4} r \cos \theta_j'' (\sin 2\theta_j^* - \sin 2\theta_j'') \} - \\
 & - \frac{r^3}{EI} \sum_{j=1}^{n_j^*} q_j \{ (c-r)(\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') (\sin \theta_0 - \cos \theta_j'') + (c-r)(\cos \theta_j^* - \cos \theta_j'') (\cos \theta_0 + \sin \theta_j'') + \\
 & + \frac{r}{2} (\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') (\sin^2 \theta_j^* - \cos^2 \theta_0) + \frac{r}{2} (\cos \theta_j^* - \cos \theta_j'') (\frac{\pi}{2} - \theta_0 + \theta_j'') + \frac{r}{4} (\sin 2\theta_0 + \sin 2\theta_j'') \} + \\
 & + \eta \frac{r}{GA} \sum_{i=1}^{n_i^*} q_i (\cos \theta \sin \theta_i'' - \sin \theta \cos \theta_i'') - \eta \frac{r}{GA} \sum_{i=1}^{n_i^*} q_i [\cos \theta (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') - \sin \theta (\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'')] + \\
 & + \eta \frac{r}{GA} \sum_{i=1}^{n_i^*} q_i (\cos \theta \sin \theta_i^* - \sin \theta \cos \theta_i^*) + \eta \frac{r}{GA} \sum_{i=1}^{n_i^*} q_i [\cos \theta (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') - \sin \theta (\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'')] - \\
 & - \frac{r}{EA} \sum_{i=1}^{n_i^*} q_i (1 - \sin \theta \sin \theta_i'' - \cos \theta \cos \theta_i'') - \frac{r}{EA} \sum_{i=1}^{n_i^*} q_i [\sin \theta (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') + \cos \theta (\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'')] +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{r}{EA} \sum_{j=1}^{n_2^*} q_j (1 - \cos \theta \cos \theta_j^* - \sin \theta \sin \theta_j^*) - \frac{r}{EA} \sum_{j=1}^{n_2^*} q_j [\sin \theta (\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') + \cos \theta (\cos \theta_j^* - \cos \theta_j'')]; \\
\Delta_{2p} = & \frac{r^4}{EI} \sum_{i=1}^{n_1^*} q_i \{ -(\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'') - \frac{1}{2} \cos \theta_i'' (\sin^2 \theta_i^* - \sin^2 \theta_i'') - \frac{1}{2} \sin \theta_i'' (\theta_i^* - \theta_i'') + \\
& + \frac{1}{4} \sin \theta_i'' (\sin 2\theta_i^* - \sin 2\theta_i'') \} + \frac{r^4}{EI} \sum_{i=1}^{n_1^*} q_i \{ (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') (\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \theta_i^*) - \\
& - \frac{1}{2} (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') (\sin 2\theta_0 - \sin 2\theta_i'') + (\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'') (\cos^2 \theta_0 - \sin^2 \theta_i^*) \} + \\
& + \frac{r^4}{EI} \sum_{j=1}^{n_2^*} q_j \{ -(\cos \theta_j^* - \cos \theta_j'') - \frac{1}{2} \cos \theta_j'' (\sin^2 \theta_j^* - \sin^2 \theta_j'') - \frac{1}{2} \sin \theta_j'' (\theta_j^* - \theta_j'') + \\
& + \frac{1}{4} \sin \theta_j'' (\sin 2\theta_j^* - \sin 2\theta_j'') \} + \frac{r^4}{EI} \sum_{j=1}^{n_2^*} \frac{1}{2} q_j \{ (\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') (\theta_0 - \frac{\pi}{2} - \theta_j'') + \\
& + \frac{1}{2} (\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') (\sin 2\theta_0 + \sin 2\theta_j'') - (\cos \theta_j^* - \cos \theta_j'') (\sin^2 \theta_j'' - \cos^2 \theta_0) \} - \\
& - \eta \frac{r}{GA} \sum_{i=1}^{n_1^*} q_i (1 - \sin \theta \sin \theta_i'' - \cos \theta \cos \theta_i'') - \\
& - \eta \frac{r}{GA} \sum_{i=1}^{n_1^*} q_i [\sin \theta (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') + \cos \theta (\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'')] + \\
& + \eta \frac{r}{GA} \sum_{j=1}^{n_2^*} q_j (1 - \cos \theta \cos \theta_j^* - \sin \theta \sin \theta_j'') - \frac{r}{EA} \sum_{i=1}^{n_1^*} q_i (\cos \theta \sin \theta_i'' - \sin \theta \cos \theta_i'') + \\
& + \frac{r}{EA} \sum_{i=1}^{n_1^*} q_i \cos \theta (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') - \sin \theta (\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'') - \frac{r}{EA} \sum_{j=1}^{n_2^*} q_j (\cos \theta \sin \theta_j^* - \sin \theta \cos \theta_j'') - \\
& - \frac{r}{EA} \sum_{j=1}^{n_2^*} q_j [(\cos \theta (\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') - \sin \theta (\cos \theta_j^* - \cos \theta_j''))]; \\
\Delta_{3p} = & \frac{r^3}{EI} \sum_{i=1}^{n_1^*} q_i \{ (\theta_i^* - \theta_i'') + (\cos \theta_i^* - \cos \theta_i'') (\cos \theta_0 - \sin \theta_i^* + \sin \theta_i'') - \\
& - (\sin \theta_i^* - \sin \theta_i'') (\sin \theta_0 - \cos \theta_i^* + \cos \theta_i'') \} + \frac{r^3}{EI} \sum_{j=1}^{n_2^*} q_j \{ (\theta_j^* - \theta_j'') + \\
& + (\cos \theta_j^* - \cos \theta_j'') (\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') - \cos \theta_0 + (\sin \theta_j^* - \sin \theta_j'') (\cos \theta_j^* - \cos \theta_j'') - \sin \theta_0 \} .
\end{aligned}$$

Подставив единичные (4) и грузовые (7) перемещения в систему уравнений (1) и решив её, найдём неизвестные метода сил  $X_1, X_2, X_3$ . Эпюры усилий в арке получим по формулам:

$$M = \bar{M}_1 X_1 + \bar{M}_2 X_2 + \bar{M}_3 X_3,$$

$$Q = \bar{Q}_1 X_1 + \bar{Q}_2 X_2 + \bar{Q}_3 X_3,$$

$$N = \bar{N}_1 X_1 + \bar{N}_2 X_2 + \bar{N}_3 X_3.$$

На основе полученных зависимостей составлена MathCad-программа, с использованием которой выполнены расчёты конкретных арок. На рис. 4 представлен один из примеров расчёта. Расчёт этой арки был выполнен методом конечных элементов в программе SCAD. Сравнение результатов расчёта показало их хорошее совпадение, что подтверждает эффективность разработанной методики, полученной в замкнутом виде.

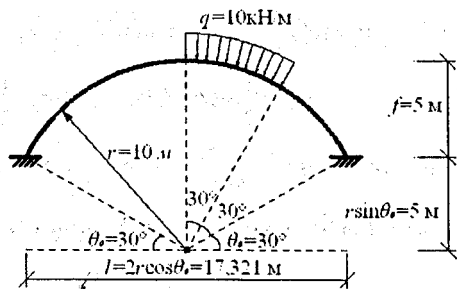
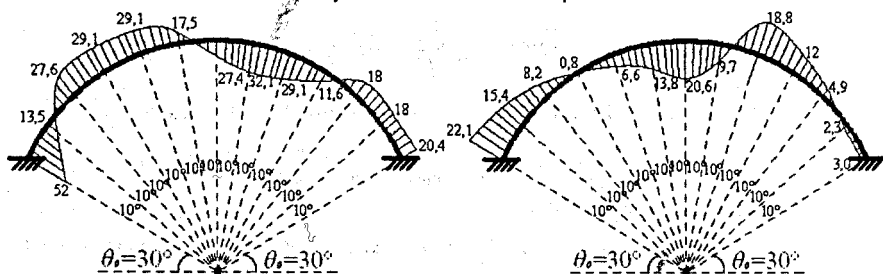


Рисунок 3 – Расчётная схема арки



а) эпюра изгибающих моментов

б) эпюра поперечных сил

Рисунок 4 – Эпюры усилий

**Заключение.** Разработана в замкнутом виде методика расчёта бесшарнирных арок постоянной жёсткости кругового очертания при статическом действии радиально направленных равномерно распределённых нагрузок. Методика реализована в программе, составленной в среде MathCad. Выполнен расчет конкретной арки.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07–85 / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.

2. Строительная механика: учебное пособие / А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович, В.И. Игнатюк. – Мн.: БНТУ, 2009. – 756 с.

УДК [725.8:725.57] (063.3)

Славиковская Д.А.

Научный руководитель: доцент Ширяева А.Д.

#### ТЕНДЕНЦИИ БУДУЩЕГО РАЗВИТИЯ ДЕТСКИХ ВОСПИТАТЕЛЬНО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ

Во всём мире популярными игровыми и развлекательными центрами, парками отдыха являются «Диснейленды» и «Евроленды». В каждой развитой стране существует свой «Диснейленд». Это воистину сказочный, мультяшный мир для детей. Захватывающие аттракционы, лабиринты, игры-конструкторы и многое другое – увлекает человека



любого возраста. То разнообразие, которое предлагают европейские парки отдыха, соответствует современному техническому и технологическому прогрессу.

В нашей стране также наблюдаются изменения в области детской индустрии. В парках отдыха происходит переоснащение оборудования, увеличивается разнообразие предлагаемых услуг, уделяется внимание малым архитектурным формам, максимально используются естественные условия при строительстве детских зон (рельеф, озеро, растительность и т.д.). В планировке общественных зданий и сооружений предусматривается определённая площадь для детских развлечений, размеры которой зависят от функции здания и его общей площади. Например, сегодняшние супермаркеты предлагают родителям-клиентам оставить своего ребёнка в игровой комнате, где дети будут находиться под присмотром воспитателей.

Создавая детскую воспитательно-игровую комнату в общественном центре или в жилом доме, следует обратить внимание на её интерьер. Важно, чтобы ребёнок чувствовал комфорт и уют в таких помещениях. Постоянное стремление к познанию и переустройству окружающего мира – характерная черта детей и подростков. Ребенок с раннего детства открывает и исследует окружающий мир, он тянется к красивому, яркому испытывает радость общения с природой. Он открывает для себя мир в разнообразных красках и звуках.

Интерьер комнаты играет поистине огромную роль в развитии личности ребенка. От того, насколько удобно, комфортно и приятно находиться в ней, зачастую зависит его желание учиться, интерес к жизни, развитие различных навыков и талантов. Такое помещение должно сочетать в себе наилучшие условия для сна, занятий, отдыха и игр.

Создавая детскую и игровую комнату, следует учитывать возраст ребёнка, особенности развития, его желания, потребности и возможности. Один период сменяется другим, и на каждом этапе предмет увлечения для ребенка – это самый главный и самый красивый элемент интерьера. Не стоит разубеждать его в этом, даже если это не так, как вам хочется, – у детей свои представления о красоте и порядке.

Ребенок нуждается в собственном пространстве, самореализации и подвижных играх в приятном, уютном месте для творчества и отдыха, которое, как минимум, безвредно. Каждый родитель хотел бы видеть своего ребенка здоровым, подвижным, оградить его от неблагоприятных воздействий города. Игровые площадки во дворах не могут считаться безопасными: выхлопные газы, посторонние люди, собаки. Двор не подходит для подвижных игр, а дома, зачастую, недостаточно места. Бывает, сложно увлечь ребенка, проводящего большую часть дня у телевизора или компьютера, подвижными играми.

Тем не менее, в нашей стране самым популярным и доступным развлекательным «центром» является детская площадка. В каждом дворе, детском садике всегда присутствует детская «территория». Основными элементами на детских площадках являются долговечные, но недостаточно безопасные игровые элементы. Самыми популярными игровыми элементами, устанавливаемыми на детских площадках, зачастую являются качели, горка, песочница. Сталкиваясь с информацией о достижениях детской индустрии зарубежных стран, стало очевидно, что наши детские площадки не удовлетворяют современным европейским требованиям. Главные из них связаны с использованием современных экологических материалов; с функциональным формированием организации пространства; с техническим оснащением.

Поэтому проблема проведения детского досуга и воспитания детей требует подробного рассмотрения. Окружающее пространство, общество воспитывает в ребёнке буду-

щую личность; и от того, какую среду мы создадим нашему ребёнку, зависит его будущее. Воспитание ребёнка, формирование детского пространства важно не только для родителей, но и для их воспитателей. Большинство детей младших классов, не найдя место для игры во дворе, зачастую уходят в виртуальный мир, что вредит и психике, и здоровью. Дети становятся неполноценными как физические, так и моральные.

Целью научной работы является анализ зарубежного опыта в создании современных парков развлечений, детских воспитательных и развлекательных центров. На основе проанализированных данных сформировать представление о максимально функциональной организации игровых комнат, детских площадок, центрах детского творчества; предложить и разработать концепцию развития развлекательно-образовательного центра для детей в Белоруссии.

В своей работе я попыталась обобщить зарубежный опыт и предложить создание такого детского центра, в котором дети могли бы получать образование через своеобразную игру-практику, наблюдая за действиями специалистов узкого профиля. Наблюдая за работой медсестёр, поваров, воспитателей и т.д., дети запоминают необходимые действия, что облегчает дальнейшее обучение. Это же поможет ребёнку сориентироваться в непростых, для него, ситуациях, таких как оказание первой помощи, правильное питание (что является залогом здоровья) и т.д. Воспитать в ребёнке красоту и гармонию можно через природу. Например, пусть дети под руководством биолога, садовода сажают свои первые цветы, деревья, ухаживают за ними, как бы воспитывают их; либо под руководством зоолога присматривают за животными, становятся их друзьями. Тут же возможно создание ветеринарного приюта в детском центре, где дети помогают и взрослым в уходе за животными, и животным, нуждающимся в помощи. Ребёнок с огромной любовью относится ко всему, что делает.

Хотелось бы отметить, что создавая детские площадки, центры досуга для детей и образовательно-развлекательные центры, следует ориентироваться на европейский опыт, на новые тенденции в развитии технологий. Усвоив европейский опыт в создании детской среды, подкорректировав его под наши условия, можно создать нечто замечательное, что будет радовать нас и забавлять наших детей. Используя инновационные решения, такие центры смогут привлечь внимание специалистов-учёных, педагогов, бизнесменов. Использовать современное оборудование необходимо: это помогает нации не отставать в использовании и создании новейших технологий, шагать в одну ногу с прогрессом; такое оборудование предлагает посетителям большой выбор услуг, т.е. оно многофункционально; не требует живой рабочей силы.

Вот следующие «изобретения» для детей, которые используются в Европе, Америке:

1. Планировка – нужны специализированные комнаты, где дети будут учиться и получать знания в конкретной сфере. Таковыми являются кинозалы, музеи, столовые, мед. комнаты и др. Также нужны большие лужайки для подвижных игр, спортивные городки, плескательный бассейн, затененные места для спокойных игр и занятий, площадки с игровым оборудованием: лианами, качелями, горками, каруселями, бумами и т.д. (рис.1). В создании окружающего пространства активное участие должны принимать дети.

2. Также хотелось бы предложить использовать интересную мебель-конструктор для создания интерьера детских комнат. Проект Screw, где мебель выполняет не только развлекательную функцию. Так, кроме того, что комплект мебели состоит из стола и стульев, здесь есть кубики, детские счеты, шарики, колечки, в общем, различные пред-

меты, которые обычно используют для того, чтобы и развлекать детей, и развивать их способности. А поскольку мебель Screw является конструктором, дети постарше могут тоже участвовать в ее сборке вместе с родителями или другими взрослыми (рис.2).

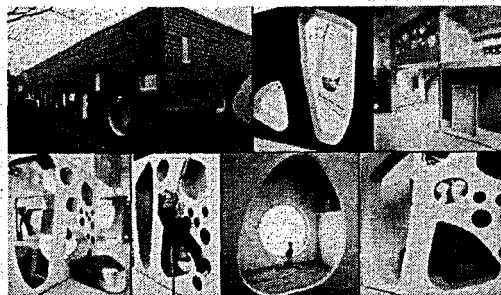


Рисунок 9 – Инновационные решения в оформлении помещений для детей

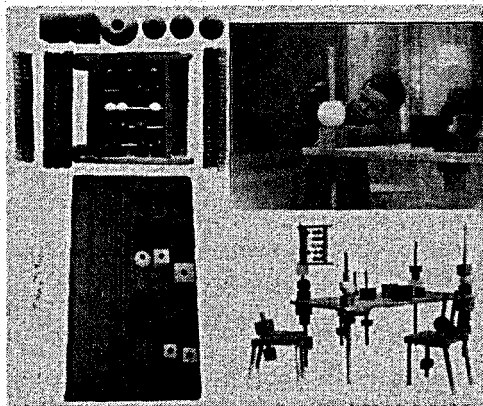


Рисунок 2 – Мебель Screw

3. Использование скамьи-звездочки (рис.3). Скамейка была придумана дизайнером Nil турецким Gulagi и получила имя «Aster-ist». Форма звездочки никогда не перестанет быть популярной, ведь это одна из тех форм, которые проносятся через время.

Родители сами могут придумать и соорудить или заказать своему ребёнку интересную мебель.

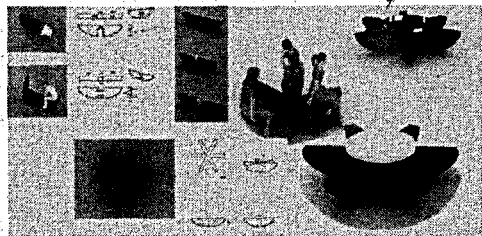


Рисунок 3 – Проект скамьи-звездочка

Создание такого центра продвинуло бы белорусскую детскую индустрию на несколько шагов вперёд. Но на сегодняшний день хотелось бы видеть свой маленький Диснейленд – мир фантазий, сказок, где ребёнок любого возраста, «цвета» и религии чувствует себя счастливым и нужным миру...

Эта тема актуальна: детская территория сегодня не безопасна; все основы в воспитании закладываются с детства, и нужно это максимально использовать. Детей необходимо направлять в правильное русло (рис.4).



Рисунок 4 – Тематическое оформление детских площадок

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. [www.goplanet.li](http://www.goplanet.li)
2. [www.KCC ENTERTAINMENT DESIGN](http://www.KCC ENTERTAINMENT DESIGN)
3. [www.disnay.li](http://www.disnay.li)
4. [www.kidtropolis](http://www.kidtropolis)
5. [www.ikea](http://www.ikea)
6. [www.Little wood](http://www.Little wood)
7. [www.maf.ru](http://www.maf.ru)
8. Пантелеев, Г.Н. Эстетика участка дошкольного учреждения: Кн. для работников дошк. учреждений. – М.: Просвещение, 1988. – 110 с.: ил.
9. Страутманис, И.А. «Информативно-эмоциональный потенциал архитектуры»: Кн. предназначена для архитекторов и искусствоведов. – М., Стройиздат, 1978. – 119 с.

УДК 624.012

*Страпко И.В., Видничук А.Н., Кот Н.Н.*

*Научный руководитель: ассистент Желткович А.Е.*

#### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОГО ВЫГИБА БЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ ПОЛА, ДОРОЖНОГО, АЭРОДРОМНОГО ПОКРЫТИЯ, ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОСНОВАНИЕМ И ПОДВЕРЖЕННОГО ВЫНУЖДЕННЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ РАСШИРЕНИЯ**

##### **Состояние вопроса**

В работе [1] акцентируется внимание на раздельном характере деформирования дорожного полотна относительно основания, причём распределение деформаций по высо-

те сечения плиты принимается равномерным, вертикальные деформации (выгибы) плиты не рассматриваются.

В работе [2] указывается, что при действии силы в сечении конструкции, приложенной с эксцентриситетом, конструкция будет выгибаться, если её не скомпенсирует другая сила (собственный вес, пригруз).

Как видно из работы «К вопросу определения минимально возможного пролёта бетонного дорожного покрытия, работающего без выгиба, при взаимодействии с основанием и подверженного вынужденным деформациям расширения», выполненной в рамках настоящего исследования Желтковичем А.Е., Страпко И.В., Котом Н.Н., Видничуком А.Н. (представлена в настоящем сборнике), при устройстве плиты на бетонном «жёстком» основании требуются значительные размеры самой плиты для компенсации сил сцепления и трения, возникающих на подошве (см. таблицу 1 вышеуказанной работы). Делается вывод о необходимости организации дополнительных мер, например, устройства рабочей арматуры в верхней части сечения плиты.

Становится очевидным и актуальным и требует положительного решения вопрос взаимодействия системы «плита – основание» при рассмотрении проблемы распределения деформаций по высоте сечения плиты.

### Экспериментальные исследования плит

#### 1. Бетонная смесь

В качестве инертных заполнителей для напрягающего цементно-песчаного раствора в образцах плитах серии №1 использовали песок Заславльского карьера с модулем крупности  $M_k = 1.6 \div 2.6$ . В образцах плит серии № 2 использовали гранитный щебень Микашевичского карьера фракции  $5 \div 10$  мм и песок Заславльского карьера с модулем крупности  $M_k = 1.6 \div 2.6$ . Щебень перед использованием тщательно промывали в проточной воде. Водоцементное отношение было назначено равным: для цементно-песчаного раствора образцов серии № 1  $V/C = 0,35$ , для бетона образцов серии № 2,  $V/C = 0,4$ . Состав бетонной смеси на  $1 \text{ м}^3$  в сухом состоянии представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Расход материалов на  $1 \text{ м.куб.}$  бетонной смеси на НЦ (в сухом состоянии)

№ серии п/п	Расход			
	НЦ	Щебень	Песок	Вода
Образцы серии №1	1110	-	1110	388
Образцы серии №2	550	1020	650	215

Бетонная смесь приготавливалась в бетономешалке гравитационного действия ёмкостью 60 литров в течение  $1.5 \div 3$  минут. Уплотнение бетонной смеси при укладке в форму (опалубку) осуществлялось с помощью глубинного вибратора, а контрольных образцов – на лабораторной виброплощадке.

Одновременно с изготовлением опытного покрытия в виде плит изготавливали не менее трёх кондукторов призм размерами  $5 \times 5 \times 20$  мм, (серия № 1), для определения самонапряжения по стандартной методике, изложенной в [3]. В опытах серии образцов № 2, вместо призм, для определения величины самонапряжения использовались кольца диаметром 10 мм, по методике, изложенной в [3]. В опытах серии образцов № 2 также были изготовлены призмы размером  $4 \times 4 \times 16$  мм, для определения свободных линейных деформаций бетона.

Физико-механические характеристики напрягающего цементно-песчаного раствора и бетона, использованного при изготовлении опытных плит, представлены в *таблице 2*.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики напрягающих бетонов в опытных плитах

Серия полос-плит № п/п.	Характеристика материала			
	Свободное расширение, %	Самонапряжение, Н/мм <sup>2</sup>	Прочность в свободном состоянии (при сжатии), Н/мм <sup>2</sup>	
			1 сутки	7 суток (для серии №1)* 10 суток (для серии №2)**
Серия №1*	0,036	0,13	11,53	-
Серия №2**	1,0	2,5	≥ 5	-

Примечание:

- прочность бетона или цементно-песчаного раствора образцов полос-плит в экспериментах (на всём диапазоне измерений) не контролировалась по причине того, что ожидаемого эффекта, (выгибов, деформации сечения) не наблюдалось ни в одном из экспериментов;

\* - для серии №1 конечные измерения физико-механических характеристик производились в возрасте 7 суток;

\*\* - для серии образцов №2 конечные измерения физико-механических характеристик производились в возрасте 10 суток.

## 2. Основание под покрытие

В качестве основания была выбрана пустотная железобетонная плита размерами 3,0x1,5x0,22 м; значительно отличающейся по жёсткости от монолитных плит, устроенных на ней.

## 3. Опытные образцы

Исследования выполняли на цементно-песчаных и бетонных плитах прямоугольного сечения (длина каждой плиты составляла – 2 м, ширина – 0,2 м, высота – 0,04 м), устроенных одна – непосредственно на бетонном основании, другая на бетонном основании, поверх которого положена полиэтиленовая двухслойная плёнка, таким образом создавался т.н. скользящий слой.

Переменным параметром в испытаниях являлась энергоактивность напрягающего цемента и степень ограничения деформации расширения.

Образец П-II был выполнен на скользящем слое как контрольный для сравнения с плитами, выполненными на бетонном основании.

Программа исследований представлена в *таблице 3*, а геометрические размеры опытных образцов плит – на *рис. 1*, *рис. 2* и *рис. 7*.

## 4. Изготовление опытных образцов и подготовка основания к эксперименту

Для изготовления опытных образцов были выполнены деревянные формы. Для получения качественной поверхности плит и улучшения условий распалубки контактные поверхности деревянной части форм были покрыты полиэтиленовой плёнкой толщиной 0,01 мм.

Основание перед установкой на него опалубки для плит тщательно промывалось проточной водой, затем протиралось сухой ветошью, в месте устройства плиты П-II, устраивалась полиэтиленовая прослойка между формой для плит и плитой основания. Непосредственно перед самим бетонированием поверхность ещё раз очищалась от мелкой пыли и смачивалась водой.

Таблица 3 – Краткая программа экспериментальных исследований

Серия	Обозначение плит	Сечение		Энергоактивность бетона, Н/мм <sup>2</sup>	Основание	Условия хранения	Кол-во, шт.
		bхhхl, см	A <sub>b</sub> , см <sup>2</sup>				
1	П-I	3х20х2000	60	0,6	бетон	влажное, под плёнкой	1
1	П-II	3х20х2000	60	0,6	плёнка	влажное, под плёнкой	1
2	П-III	3х20х2000	60	3,0	бетон	влажное, под плёнкой	1

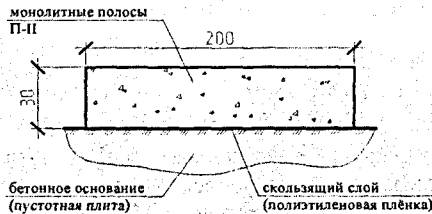


Рисунок 1 – Геометрические характеристики плиты П-II (серия опытов №1)

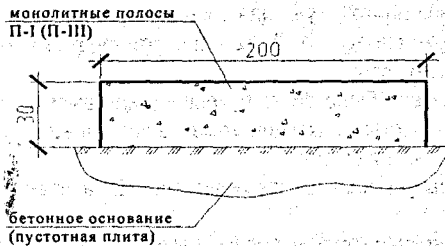


Рисунок 2 – Геометрические характеристики плиты П-I (серия опытов №1), П-III (серия опытов №2)

### Экспериментальная методика определения характера распределения перемещений по высоте сечения плиты

С целью выявления действительного характера распределения перемещений по высоте сечения плиты, устроенной на «жестком», бетонном основании, была разработана следующая методика экспериментальных исследований. В соответствии с ней разработаны измерительные приборы, запланированы и проведены исследования образцов плит.

Выгибы (вертикальные деформации) измеряются индикаторами часового типа ИЧ-100, размещёнными на штативах, фиксация вертикальных деформаций центра плиты производится при помощи видеокамеры с передачей изображения на компьютер. Для определения вертикальной составляющей перемещений (выгиба), посередине пролёта плиты устанавливается штатив с индикатором № 3 (см. рис. 3), шток которого опирается на репер, устроенный в середине плиты. Показания индикатора фиксируются видеокамерой – 9, с частотой съёмки 1 к/с, на протяжении нескольких суток непрерывно.

Обозначения: 1 – устройство самописец; 2 – индикатор, фиксирующий горизонтальные перемещения края плиты; 3 – индикатор, фиксирующий вертикальные перемещения центра плиты; 4 – индикатор, фиксирующий вертикальные перемещения четверти

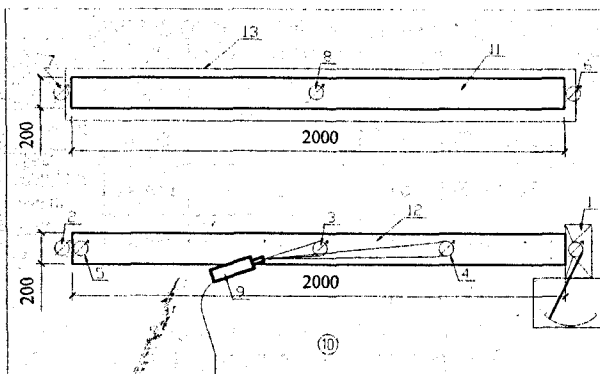


Рисунок 3 – Схема размещения измерительных приборов

плиты; 5 – индикатор, фиксирующий вертикальные перемещения края плиты; 6 – индикатор, фиксирующий горизонтальные перемещения края плиты; 7 – индикатор, фиксирующий горизонтальные перемещения края плиты; 8 – индикатор, фиксирующий вертикальные перемещения центра плиты; 9 – камера слежения за показаниями индикаторов № 3, № 4; 10 – бетонная плита, служащая в качестве основания; 11 – плиты П-I (серия опытов № 1), П-III (серия опытов № 2); 12 – полиэтиленовое покрытие, служащее для создания т.н. скользящего слоя.

Устройство «самописец» было сконструировано для выявления кинетики деформирования плиты с возможностью фиксации момента проскальзывания края плиты и величины перемещения плиты при сдвиге.

В одном торце плиты устанавливался индикатор – 2 на штативе, (см. рис. 3), а в другом – самописец – 1.

Устройство «самописец» сконструировано таким образом (см. рис. 4), что через систему рычагов – 4 (№ 1), – 3 (№ 2), вращающихся относительно своих осей – 12, прямое движение от штока индикатора – 1, один конец которого опирался на торец плиты, преобразовывалось во вращение по радиусу с соотношением передаваемых деформаций 1/25, (см. рис. 5).

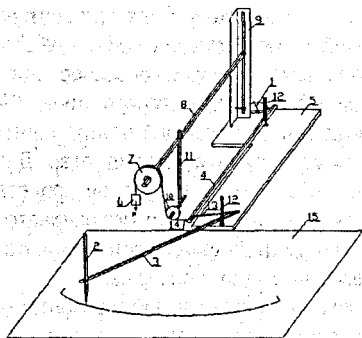


Рисунок 4 – Устройство «Самописец»

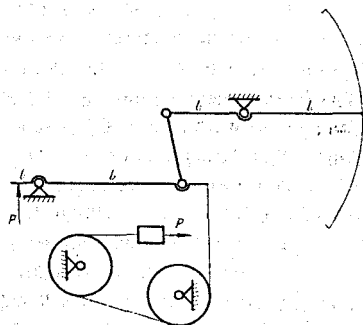


Рисунок 5 – Кинематическая схема установки – «Самописец»



Обозначения: 1 – индикатор часового типа ИЧ-100; 2 – чернильная (гелевая) ручка; 3 – рычаг № 2; 4 – рычаг №1; 5 – основание штатива; 6 – груз; 7 – блок № 1; 8 – штанга для блока №1; 9 – стойка штатива; 10 – блок № 2; 11 – штанга для блока № 2; 12 – ось шарнира рычагов № 1, № 2; 13 – соединительная пластина; 14 – гибкая нить; 15 – планшет с миллиметровой бумагой.

Где соотношение  $\frac{l_1}{l_2} = \frac{1}{12.5}$ ; соотношение  $\frac{l_3}{l_4} = \frac{1}{12.5}$ .

На конце рычага – 3 (№ 2), закреплённая чернильная ручка – 2 скользит по миллиметровой бумаге, размещённой на планшете – 15 (см. рис. 4, рис. 6), и отчерчивает передаваемые горизонтальные перемещения плиты при расширении бетона.

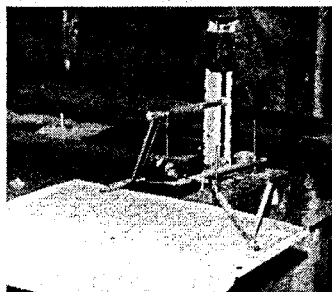


Рисунок 6 – Общий вид устройства «самописец» при измерении горизонтальных перемещений



Рисунок 7 – Плиты П-I, П-II (серия опытов №1)

### Заключение

1. Данная экспериментальная методика определения предполагаемого выгиба при нарушении сцепления бетона с основанием, базирующаяся на синхронизированной фиксации измерений, передаваемых от самописца и индикаторов, позволяет выявить особенности работы плит при взаимодействии с бетонными, цементными основаниями («жесткими» типами оснований).

2. В эксперименте ожидалось, что видеоприборы зафиксируют выгиб, а после возвращение плиты в прежнее положение, падение показаний на индикаторе № 3, снимающем вертикальные перемещения. Чернильная ручка на самописце № 1, в этот момент отчертила бы отличающийся след на миллиметровой бумаге, так называемый след смещения от вертикальной составляющей перемещений, но этого явления не было отмечено ни в одном из экспериментов. Вместе с тем не было зафиксировано и характерного выгиба. Таким образом, при расширении плиты на «жестком», бетонном основании возникающую связь на контакте можно рассматривать как силу, действующую в определённый, самый короткий момент времени, но не способную реализовать выгиб. Это можно объяснить тем, что в процессе расширения, на концевых участках (у края плиты), накапливается значительная потенциальная энергия деформации, которая реализуется в сдвиге концевого участка гораздо раньше (и выравнивает градиент деформаций по высоте сечения), чем плита успевает набрать достаточную жесткость, чтобы реализовать выгиб. Можно сделать вывод, что момента от силы сдвига в контакте (при устройстве плиты без упоров, нагелей) не достаточно для того, чтобы в плите были преодолены вертикальные силы сцепления с основанием (адгезионные). После сдвига кон-

цевого участка (из-за стремительного сокращения площади взаимодействия плиты с основанием) происходит прогрессирующее развитие трещины в контакте между плитой и основанием, приближая фронт трещины к центру плиты, тем самым разрушая адгезионные силы сцепления и нейтрализуя момент силы.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Zhang, J. Influence of supporting base characteristics on shrinkage-induced stresses in concrete pavements / J. Zhang, Li. Victor // Journal of Transportation Engineering. – № 6. – 2001. – Vol. 127.

2. Босоков, С.В. Определение величины втягивания канатов в изгибаемых преднапряженных железобетонных плитах безапалубочного формования / С.В. Босоков, В.Н. Белевич, Н.С. Щетиков // Вестник БрГТУ. – 2010. – № 1<sub>(61)</sub>: Строительство и архитектура. – С. 46-50.

3. ТУ РБ02071613.183 - 99. Цемент напрягающий. – Технические условия (опытная партия). – Брест: 1999. – 14 с.

УДК 624.15:624.131.29

*Шевчук С.С.*

*Научный руководитель: ассистент Невейков А.Н.*

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ БЕТОНОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

**Введение.** В мировой практике свайного фундаментостроения наиболее распространенными являются буронабивные сваи, на долю которых приходится более 50% от общего объема применяемых свайных фундаментов [1], что объясняется их преимуществами [2]. Многочисленные результаты проведенных ранее испытаний различными исследователями буровых и буронабивных свай из тяжелых бетонов, обобщенные в [3], показывают, что боковая поверхность свай воспринимает от 60% до 90% нагрузки. Следовательно, обеспечение плотного контакта сваи с грунтом по всей длине является определяющим для повышения несущей способности.

Для повышения эффективности использования свайных фундаментов из буронабивных свай используются различные материалы, способные к расширению, – негашеная известь в комбинации с цементом и песком, бетон с введенной алюминиевой пудрой, бетонов на напрягающем цементе. Применение бетонов на напрягающем цементе обусловлено благоприятными условиями, создаваемыми грунтом для расширения и твердения бетона [4].

Для выяснения влияния типа бетона на несущую способность буронабивных свай по боковой поверхности, устраиваемых в песчаных грунтах, при действии вертикальной нагрузки выполнены экспериментальные исследования работы моделей цилиндрических буронабивных свай.

#### Методика экспериментальных исследований

##### 1. Программа исследования и характеристика опытных образцов

Параметрическая область исследований получена с использованием метода планирования экспериментов [5], позволяющим одновременно учесть влияние нескольких

факторов на несущую способность свай по боковой поверхности (отклик) и значительно сократить число опытов.

В качестве варьируемых факторов были приняты следующие конструкционные параметры (1 группа факторов), оказывающие наибольшее влияние на несущую способность свай по боковой поверхности:

- диаметр буронабивной сваи – 55 мм; 110 мм
- длина рабочей зоны сваи – 400 мм; 800 мм
- тип бетона (тяжелый ТБ, напрягающий бетон с 1,2% расширения (НБО) и 2,4 % расширения (НБД)).

Физико-механические характеристики грунта (2 группа факторов) не варьировались, а принимались фиксированными. Основанием служил песок средний, средней плотности, маловлажный ( $\rho = 1,69 \text{ г/см}^3$ ;  $\rho_s = 2,65 \text{ г/см}^3$ ;  $w = 0,06$ ;  $\varphi = 36,9^\circ$ ;  $c = 3,20 \text{ кПа}$ ;  $E = 8,6 \text{ МПа}$ ).

Для сравнения выполнены испытания моделей буронабивных свай на бетоне с до-бавлением алюминиевой пудры Ø55мм.

## 2. Материалы для изготовления моделей свай

До проведения экспериментов проведены предварительные исследования напрягающих цементов и составов бетонов на них. Процентное соотношение составляющих определяли на основании подбора состава вяжущего, обеспечивающего максимальную величину свободного расширения и минимальную конструктивную прочность.

Основные характеристики рассмотренных составов напрягающих цементов (табл.1) были определены на образцах мелкозернистого бетона с соотношением напрягающего цемента и песка 1:1. Водоцементное отношение, принятое для всех составов, составляло 0,4. В соответствии со стандартными условиями [6] образцы после первых суток твердения в воздушно-сухих условиях необходимо поместить в воду. Так как грунт по своим прочностным и деформационным характеристикам значительно отличается от материала опалубки, то были изменены условия проведения опыта и образцы помещались в воду через 7-8 часов после их бетонирования.

Таблица 1 – Основные характеристики напрягающего цемента

Серия	Состав ПЦ:ГЦ:Г:РД, % по массе	Характеристики			
		Линейное расширение, %	Самонапряжение, Н/мм <sup>2</sup>	Прочность на сжатие, МПа.	
				8 часов	28 суток
Ц1	63:15:12:10	3,1 <sup>*)</sup>	1,7 <sup>*)</sup>	2,0	- <sup>*)</sup>
Ц2	72:12:9:7	1,7 <sup>*)</sup>	1,5 <sup>*)</sup>	2,2	- <sup>*)</sup>
Ц3	69:19:12:0	4,8	1,0	2,6	15,2
Ц4	74:15:11:0	2,9	1,6	3,0	24,8

Примечание: <sup>\*)</sup> – состав разрушился, характеристики приведены до разрушения

Состав бетонных смесей для моделей свай подбирался на основе стандартных методик. При приготовлении бетонной смеси, в качестве заполнителей для бетонов, использовали гранитный щебень фракции 5...20 мм и песок с модулем крупности  $M_k = 2,32$ . Водо-цементное отношение для всех приготовленных бетонов составляло 0,4. Для получения требуемой подвижности использовался гиперпластификатор ГП1. Состав бетонных смесей на 1 м<sup>3</sup> в сухом состоянии представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси в сухом состоянии

Цемент, кг	Щебень, кг	Песок, кг	Вода, л	ГП1, л
650	580	920	260	5

Для определения прочности и измерения деформаций расширения напрягающих бетонов были забетонированы цилиндры. В качестве формы для бетонирования цилиндров использовался песчаный грунт, помещенный в деревянные и металлические лотки, подготовка и характеристики которого соответствовали основанию моделей буронабивных свай. Образцы изготавливали диаметром 110 мм, высотой 160 мм. Для измерения деформаций расширения к лоткам крепились индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Это позволяло измерять деформации бетона с момента укладки бетонной смеси (рис. 1). На 28 суток осуществлялось испытание бетонных образцов на сжатие (табл. 3).

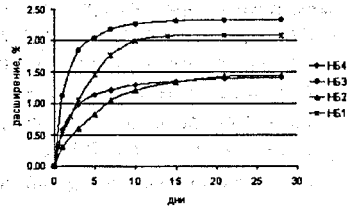
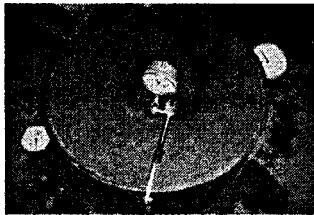


Рисунок 1 – Измерение деформации расширения бетонных цилиндров Ø110 мм

Таблица 3 – Результаты испытания цилиндров на сжатие

Тип бетона	ТБ	АБ	НБ1	НБ2	НБ3	НБ4
Средняя прочность в возрасте 28 суток, МПа	38,2	14,2	2,4	8,2	8,1	13,8

### 3. Испытание моделей буронабивных свай

Испытания проведены в двух грунтовых лотках с искусственно подготовленным основанием. Рабочие размеры лотка №1 1200×1000×1050(н) мм для моделей свай длиной 800 мм и лотка №2 – 1000×1000×500(н) мм для моделей свай длиной 400 мм. Укладку грунта в лотки выполняли слоями толщиной 8-10 см. После отсыпки каждого слоя грунт тщательно уплотняли ручной трамбовкой. Так как при устройстве буронабивных и буровых свай по большинству технологических схем в процессе бурения скважины уплотнение стенок скважины не происходит, то для устройства скважин модельных свай, при укладке грунта в лотки, использовали трубы Ø55 и 110 мм. Расстояние между боковыми гранями труб назначалось таким образом, чтобы исключить взаимовлияние моделей свай друг на друга при испытаниях. После формирования грунтового массива трубы извлекали из грунта и в скважину устанавливали шпильки Ø6 и 12 мм соответственно. Затем скважину заполняли бетонами литой консистенции трех типов: тяжелый бетон (ТБ); бетон на основе напрягающего цемента Ц3 (НБ3); бетон с введением алюминиевой пудры (АБ), для сравнения с напрягающим бетоном.

По истечении месяца, необходимого для набора прочности бетона, были проведены испытания вертикальной выдергивающей нагрузкой (рис. 2). Вырывающее усилие передавалось через стальной трос и систему блоков от рычага в виде кулисы (соотношение плеч 1:10), закрепленной в торце рамы (для моделей Ø55 мм) и гидродомкрат (для моделей Ø110 мм) грузовой рамы. Загрузку производили ступенями в 1/15-1/20 предполагаемой максимальной вырывающей нагрузки. При этом с помощью двух прогибомеров БПАО с ценой деления 0,01 мм измеряли осевое перемещение головы модели сваи в вертикальном направлении. В каждом лотке испытывали одновременно только одну модель сваи. Опыт считался завершенным, когда происходили резкая потеря удерживающей способности грунта основания и выskalзывание сваи.

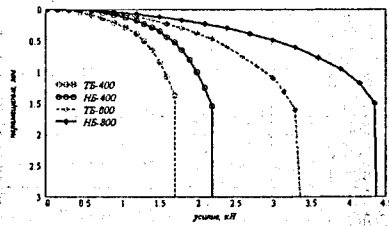
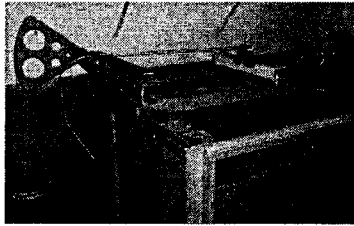


Рисунок 2 – Испытание моделей буронабивных свай Ø55 мм и общий вид графиков «нагрузка - перемещение»

### Результаты эксперимента

В проведенных опытах выпор грунта происходил по концентрическим окружностям с образованием равномерно расположенных радиальных трещин, что свидетельствует о вертикальном приложении нагрузки к модели сваи. После осмотра извлеченных свай из грунта было установлено, что их боковые поверхности покрыты сплошным слоем песка, что связано с проникновением цементного молока в грунт контактного слоя и его прилейкой к модели сваи. Таким образом, срыв сваи происходил только из-за сдвига грунта по грунту. Результаты всех проведенных испытаний приведены в таблице 4.

Из анализа результатов следует, что:

- для моделей свай из обычного бетона увеличение предельной вертикальной выдерживающей нагрузки происходит пропорционально с ростом геометрических размеров, что подтверждалось многократно [3, 7, 8];

- для моделей свай из напрягающего бетона, в скважинах разного диаметра, стенки скважины получали разное приращение диаметра, но прирост нагрузки также оказался пропорционален геометрическим размерам, что можно объяснить примерно одинаковой величиной давления на стенки скважины, что не противоречит теоретическим решениям [1, 8, 9];

- использование напрягающего бетона обеспечило плотный контакт сваи с грунтом и, следовательно, увеличило силы трения грунта по боковой поверхности сваи до 30%.

На основании экспериментальных данных можно получить следующее уравнение:

$$Y_{Fdu} = 4,04 + b X_d + c X_L + d X_{\%} + X_d X_L + X_d X_{\%} + X_L X_{\%} \quad (1)$$

где  $Y_{Fdu}$  – усилие, воспринимаемое боковой поверхностью сваи;  $X_L$  – длина модели сваи;  $X_d$  – диаметр модели сваи;  $X_{\%}$  – линейное расширение тела сваи, %.

Уравнение (1) позволяет оценить влияние каждого варьируемого фактора в рассматриваемом диапазоне на величину усилия воспринимаемого боковой поверхностью модели.

Таблица 4 – Результаты испытания моделей буронабивных свай из различных типов бетона

Шифр сваи	Предельное выдерживающее усилие ( $N_{lim}$ ), кН	Предельное перемещение модели ( $S_{lim}$ ), мм	Среднее предельное сопротивление грунта по боковой поверхности ( $T_{lim}$ ), кПа
ТБ-55-400-1	1,7	1,39	24,11
ТБ-55-400-2	1,7	1,42	
ТБ-55-400-3	1,6	1,28	
АБ-55-400-1	2,0	1,43	28,93
АБ-55-400-2	1,9	1,28	
АБ-55-400-3	2,1	1,37	
НБ-55-400-1	2,2	1,42	30,87
НБ-55-400-2	2,1	1,33	
НБ-55-400-3	2,1	1,39	

Продолжение табл. 4

ТБ-55-800-1	3,4	1,75	24,11
ТБ-55-800-2	3,2	1,69	
ТБ-55-800-3	3,4	1,79	
АБ-55-800-1	4,5	1,74	29,66
АБ-55-800-2	3,9	1,65	
АБ-55-800-3	3,9	1,51	
НБ-55-800-1	4,5	1,52	31,11
НБ-55-800-2	4,2	1,43	
НБ-55-800-3	4,2	1,48	
ТБ-110-400-1	3,4	1,71	23,88
ТБ-110-400-2	3,2	1,64	
НБ-110-400-1	4,2	1,58	31,48
НБ-110-400-2	4,5	1,65	
ТБ-110-800-1	6,6	2,26	24,42
ТБ-110-800-2	6,9	2,38	
НБ-110-800-1	8,6	2,18	31,84
НБ-110-800-2	9,0	2,25	

### Заключение

Проведенные испытания модельных свай на выдергивающую вертикальную нагрузку позволили выделить из общих усилий долю предельных контактных сопротивлений сдвигу по боковой поверхности сваи и оценить влияние типа бетона на эту величину. Использование напрягающего бетона обеспечило плотный контакт сваи с грунтом и, следовательно, увеличило силы трения грунта по боковой поверхности сваи до 30%. Это свидетельствует о целесообразности применения напрягающих бетонов для изготовления буронабивных свай.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Van Impe, W.F. Belgian geotechnics' experts research on screw piles. Belgian Screw Pile Technology – design and recent development. Maertens & Huybrechts eds., Balkema, Rotterdam, 2003.
2. Лапшин, Ф.К. Расчет свай по предельным состояниям / Ф.К. Лапшин. – Изд-во СГУ, 1979. – 152 с.
3. Жуков, Н. В. Расчет коротких свай на осевые вдавливающие нагрузки / Н.В. Жуков // Обзорная информация. – М.: ЦНИИЭПсельстрой, 1989. – Вып.3. – 72 с.
4. Пойта, П.С. Эффективность применения напрягающих бетонов для изготовления свай в построечных условиях / П.С. Пойта, А.Н. Невейков // Перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы II междунар. науч.-практ. конференции. – Гомель: БелГУТ, 2008. – С. 251-252.
5. Испытание сооружений: справочное пособие / Ю.Д. Золотухин [и др.]. – Мн.: Вышш. шк., 1992. – 272 с.
6. СТБ 1335–2002. Цемент напрягающий. – Мн.: Минстройархитектуры, 2002. – 11 с.
7. Беляев, В.И. О влиянии способа устройства скважины на несущую способность коротких набивных свай / В.И. Беляев, Ю.П. Рудь // Основания, фундаменты и механика грунтов. –1979. – № 4. – С. 14-15.
8. Никитенко, М.И. Буроинъекционные анкеры и сваи при строительстве и реконструкции зданий и сооружений: монография / М.И. Никитенко – Мн.: БНТУ, 2007. – 508 с.
9. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности / А.В. Александров, В.Д. Потапов – М.: Высш. шк., 1990. – 400 с.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ ПРОШЛОГО СТОЛЕТИЯ

Жилищная проблема в Беларуси стоит очень остро. Указами президента и постановлениями правительства определены соответствующие задания и меры, направленные на оживление деятельности строительного комплекса. Жилищное строительство включено в перечень приоритетных направлений развития экономики. Недостаток свободных территорий в городах не позволяет в полной мере развивать новое жилищное строительство. От устаревшей, неэкономичной доктрины экстенсивного освоения присоединяемых к городу новых земель начался переход к интенсивному использованию резервов существующей застройки. Это выражается в:

1) размещении новых объектов строительства на существующих территориях жилых кварталов и микрорайонов;

2) строительстве пристроек к существующим жилым домам и вставок между ними;

3) строительстве надстроек над существующими домами и расширении их корпусов.

Первый и второй пути, как показывает практика, население не поддерживает. Третий путь более перспективен. Он одновременно ликвидирует многие, характерные для первых массовых серий многочисленные эксплуатационные недостатки.

Устойчивое развитие городской среды на современном этапе безусловно связано с проблемой реконструкции индустриальной жилой застройки прошлого столетия. В процессе длительной эксплуатации она, как известно, приобрела не только многие физические дефекты, но и морально деградировала, перестав удовлетворять современным потребительским качествам, предъявляемым к жилью. Но поскольку около 25 млн. м<sup>2</sup> жилой площади в целом по стране сосредоточено именно в пятиэтажных домах первых массовых серий, а проблема обеспечения населения жильем не становится менее острой, то поиск способов реконструкции старого жилого фонда с целью продления срока его службы и соответствия современным требованиям на сегодняшний день особенно актуален. Тем более что эти дома сохранили значительный остаточный ресурс и списывать их со счетов нерационально.

Реконструкция жилищного фонда, о чем свидетельствует мировая практика, и подтверждают большинство исследователей, является наиболее рациональным способом его использования и решения жилищной проблемы при ограниченных финансовых ресурсах государства. Это позволит не только сохранить имеющийся жилищный фонд, но и существенно (на 40-70%) увеличить его размеры за счёт надстройки домов и пристройки к ним дополнительных объемов, придать жилью современные потребительские качества. Реконструкция позволяет придать физически изношенным и морально деградировавшим жилым домам современные потребительские качества, продлить их жизненный цикл, снизить эксплуатационные затраты, построить новое жилье на застроенной территории, существенно улучшить архитектурный облик и среду обитания в массивах индустриальной жилой застройки.

Обобщение опыта отечественных и зарубежных ученых позволили сформулировать основные направления комплексной реконструкции жилых массивов, организационно-технологические и конструктивные решения индустриальных методов реконструкции и тепловой модернизации жилых зданий, основанные на принципе совмещения реконструкции и нового строительства в жилых массивах индустриальной застройки прошлого века.

На современном этапе исключительно важен процесс поиска организационно-технологических решений, основанных на совмещении процессов нового жилищного строительства и реконструкции существующей жилой застройки. В качестве одного из наиболее эффективных решений данной проблемы может быть рассмотрена концепция уплотнения эксплуатируемой жилой застройки с возведением энергоэффективных и ресурсоэкономичных многоэтажных жилых зданий на месте пяти- и меньшей этажности реконструируемых жилых домов без их сноса.

Основное содержание концепции состоит в совмещении процессов проектирования и строительства новых многоэтажных ширококорпусных домов и реконструкции существующих домов первых массовых серий с доведением их потребительских качеств и продолжительности жизненного цикла до уровня новых домов с одновременным наращиванием в два и более раза жилых площадей и числа квартир в реконструируемых жилых массивах, развитием инженерно-транспортной и социальной инфраструктуры при их комплексной реконструкции без освоения новых территорий и обустройства их объектами инфраструктуры.

Получаемое дополнительное жилье при вторичной застройке жилых кварталов, расположенных, как правило, в приближенных к центрам городов районах, уже обеспеченных городским транспортом и другими общегородскими услугами, получает рыночные приоритеты.

В процессе реконструкции жилой дом подвергается определенному набору ремонтно-реконструктивных воздействий, т.е. способов реконструкции, которые зависят от гаммы различных факторов, таких как моральная деградация, физическое старение здания, его историческая ценность, плотность застройки жилого массива и т.д. Эти способы реконструкции включают различные изменения объемно-планировочных решений: надстройку дополнительных этажей и мансард, уширение корпуса здания в сторону одного из фасадов или в обе стороны, достройку дополнительных секций, достройку дополнительных секций и уширение корпуса здания и т.п.

Таким образом, реализация концепции вторичной застройки жилых кварталов, подлежащих реконструкции, может послужить именно тем инструментом, который позволит избежать кризисной ситуации с реконструкцией домов первых индустриальных серий и осуществить необходимый прирост нового жилья на рациональной экономической, социальной и градостроительной основе.

УДК 726.5

*Скалкович Ю.С.*

*Научный руководитель: к.арх., доцент Власюк Н.Н.*

## **МАЛЫЕ ГОРОДА БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЦЕНТРЫ ТУРИЗМА. НА ПРИМЕРЕ г. ВЫСОКОЕ**

Целью написания статьи является постановка проблемы сохранения архитектурно-исторического наследия в г. Высокое и его использования в целях туризма.

Наряду с традиционно популярными в Беларуси познавательным и экологическим видами туризма важно развитие также культурно-развлекательного, делового, спортивного, религиозного, транзитного, трансграничного, ностальгического и других видов туризма. Особенно это актуально для малых городов Беларуси, т.к. это возможность для привлечения инвестиций для сохранения памятников архитектуры.



По значимости в системе туризма выделяются города – центры туризма международного, национального и местного значения. Проведенный специалистами анализ ресурсного потенциала городских поселений Беларуси позволил выделить 53 поселения, которые целесообразно развивать в качестве перспективных центров туризма разного ранга, в том числе международного и национального значения – 32 поселения.

Считаю, что этот список можно еще пополнить. В Беларуси, в частности в Брестской области, есть много, хоть и не очень больших, но тем не менее интересных мест. Богатство природных и исторических объектов делает Брестскую область перспективной для развития различных видов туризма. Ежегодно Брестчину посещают свыше 30 тысяч туристов и гостей более чем из 40 стран мира. А с открытием новых туристических маршрутов можно еще больше повысить интерес гостей страны к нашему региону. Для этого нужно лишь одно – сделать и без того сами по себе красивые места еще более привлекательными, обустроить и облагородив их.

Начав заниматься этой темой, объектом исследования был выбран город Высокое, как яркий пример малого города с сохранившимся большим потенциалом архитектурного наследия.

Высокое – город в Каменецком районе Брестской области. Находится он в 39 км к западу от Каменца, в 40 км от Бреста. Недалеко проходит граница с Польшей.

#### *Историческая справка*

Высокое – город с богатой историей, его современность неразрывна с прошлым.

Город впервые упоминается в документах XIV в. под названием Высокий-Город. В последующие годы был известен как Высоко-Литовск: это название сохраняется до 1939 г. (ныне данное название носит лишь железнодорожная станция, расположенная в 3-х км от города).

Магдебургское право и герб с изображением на голубом фоне серебряной двухэтажной башни-брамы, крытой черепицей, с двумя окошками, город получил в 1494 г.

Впоследствии среди владельцев Высоко-Литовска встречаются имена старосты Лаврина Войны, Ежи Иодковича, Поткевичей, Хлевицких. Строительство Высоковского замка начал Павел Ян Сапега. Сапегы укрепили замок валами и рвами, наполняемыми при необходимости водою, заложили вокруг прекрасный парк.

Вскоре после смерти Михаила Юзефа Сапегы имение перешло к его внучке (дочери Казимира Короля Сапег) – Анне. После второго брака матери Анны, а потом и самой Анны (Анна вышла замуж за брата отчима – Яна Кастана Яблоновского) на представителях рода Яблоновских имение на несколько лет становится собственностью рода Яблоновских.

Известно, что в 1748 г. Высоко-Литовск, и в частности замок, был сильно поврежден во время пожара. С того времени основная резиденция была перенесена Сапегами в город Слоним. После длительных судебных разбирательств имение вновь вернулось в дом Сапегов, правда, в таком бедственном состоянии, что Коцк и Семятичи были проданы варшавскому банкиру Майснеру, одному из кредиторов княгини Анны.

**Характеристика исторического развития планировочной структуры г. Высокое.** Особенности планировочной структуры города, сформировавшейся в течение столетий, были типичными для многих поселений, возникших в начальный период развития Великого княжества Литовского. По мере сложения города образовались два планировочно разделенных, но визуально связанных градостроительных комплекса: замок и собственно поселение. Известны мощные замковые укрепления, созданные при Сапеге в 1678-1680 гг., в плане представлявшие собой прямоугольник, ограниченный высокими земляными валами с бастионами по углам. Северо-западный вал прорезался монументальной брамой. Внутри прямоугольника валов размещались дворцовые постройки и парк. Замок был окружен рвами и заливной поймой р. Пульва.



Рисунок 1 – Замковая брама

На противоположном берегу реки находилось, вероятно, неукрепленное поселение с нерегулярной, свободно сложившейся сетью улиц. Схема планировки относилась к Т-образному типу. В плане города отчетливо прослеживаются две планировочные оси: трассированные рядом современные улицы Кирова и 17-го сентября, переходящие в улицу Ленина, а также поперечная им градостроительно значимая тупиковая улица Советская. Предположительно, во второй половине XVII в., возможно, одновременно со строительством замка, была регулярно перепланирована старая торговая площадь, получившая прямолинейные очертания сторон.

В 1784 г. замок Салегов уничтожен пожаром; сохранились лишь земляные валы, въездная брама, фрагменты стен. В 1816 г. недалеко от него, за пределами укреплений построен новый дворец в стиле классицизма, получивший симметричную композицию из нескольких корпусов. Дворец пространственно раскрывался в сторону реки и пейзажного парка, который значительно расширился по сравнению со старым замковым парком, заняв территорию более 50 га. В 1895 г. парк перепланирован по проекту арх. В. Кроненберга. В XIX-начале XX в. наиболее крупными, доминирующими в композиции города сооружениями, кроме дворца и фрагментов замка, служили православная церковь 1869 г. вблизи торговой площади, выполненная в псевдорусском стиле, Варваринская часовня 1772 г. в стиле барокко на окраине города, а также костел на главной улице в районе дворцово-паркового комплекса. Во второй половине XIX - первых десятилетиях XX в. в центральной части города построено большое число 1-2-этажных капитальных жилых зданий, носящих эклектичные черты различных архитектурных направлений.

К объектам, состоящим под государственной охраной как недвижимые историко-культурные ценности, относятся: усадьба (дворцовые корпуса, хозяйственные постройки, фрагменты укреплений замка с брамой, парк); церковь; братская могила советских воинов и партизан. На опорный план города мною нанесены историко-культурные ценности и другие исторические здания, выявленные в результате натурального исследования. Сооружения классифицированы по историко-культурной и градостроительной ценности.

К наиболее примечательным объектам, не состоящим под государственной охраной, относятся: костел XIX-XX вв. (ул. Ленина), хозяйственная постройка XVIII в. (угол ул. Кирова и Орджоникидзе), монастырский корпус на юго-западной окраине города (ул. Социалистическая).



**ПРОБЛЕМЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА И ОХРАНЫ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

## РЕЗУЛЬТАТЫ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ОТСУТСТВИИ НАДЕЖНЫХ ДАННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Беларусь относится к наиболее увлажненным странам Европы. Общая площадь переувлажненных земель в республике превышает 8 млн. га, что составляет почти 40 % ее территории. На сельскохозяйственных землях факторы, приводящие к переувлажнению, действуют на 7,6 млн. га. Наличие в недавнем прошлом столь значительного количества заболоченных и переувлажненных земель сдерживало социально-экономическое развитие регионов, областей и районов, препятствовало, прежде всего, интенсификации и устойчивому развитию сельского хозяйства. Многовековой опыт развитых в сельскохозяйственном отношении стран доказал целесообразность и эффективность мелиорации – комплекса гидротехнических, агро-мелиоративных, агротехнических и биологических мероприятий, направленных на улучшение и повышение производительности земель. В Республике Беларусь практически нет земель, нуждающихся в улучшении.

Проектирование эколого-мелиоративных и других водохозяйственных мероприятий требует комплексного решения ряда проблем:

- поддержания и сохранения высокого плодородия почв, стабилизации положительных почвенных процессов, недопущения эрозии и истощения почвы в целом;
- оздоровления ландшафтов на базе прогнозирования последствий воздействия человека (общества) на природные процессы;
- создания новых природно-хозяйственных и ландшафтно-мелиоративных систем, с устойчивыми чертами стабильности и максимальной биопродуктивности;
- восстановления плодородия истощенных почв и продуктивности почв и водоемов;
- сохранения эталонных участков биосферы.

Вышеуказанные проблемы обусловлены системой нарастающих ошибок и просчетов в планировании, проектировании и строительстве мелиоративных систем, а также давно сложившейся практикой опережающего внедрения в производство инженерных решений без должных научных проработок и обоснований; проектирование мелиоративных работ и их проведение в больших объемах без научных обоснований и эффективных технологий.

Большинство совершенных ошибок связано с низкой степенью надежности информационно-методического обеспечения проектной эколого-мелиоративной практики. Проведение мелиоративных мероприятий и проектирование мелиоративных объектов должно осуществляться с учетом гидролого-климатических и гидрогеологических условий географического региона. При этом надо иметь в виду, что сферами воздействия этих объектов являются: атмосфера – приземный слой воздуха – земная поверхность – почвогрунты – грунтовые (подземные) воды – водотоки (водоемы). Из этого следует особая важность привлечения данных метеорологических, почвенных, гидрологических и др. исследований. Гидролого-климатическая составляющая всего множества имеющихся объектов должна входить в региональный мониторинг окружающей среды, обеспечивающий постоянное и надежное слежение за состоянием производственного комплекса.

На территории Республики Беларусь существуют две обширные сети станций мониторинга окружающей среды: одна в системе Гидрометеорологической службы, другая – под управлением Санитарно-эпидемиологической службы. Их основная задача – обеспечение хозяйства страны надежными данными о состоянии окружающей среды. Так, при разработке эколого-мелиоративных мероприятий широко востребованы гидрометеорологические данные. До недавнего времени на территории Беларуси насчитывалось около 370 пунктов наблюдений за характеристиками тепловлагоресурсов. В настоящее время действующими является 52 метеостанции.

Немаловажным является оптимальное количество метеостанций, способность их предоставить точные данные для решения эколого-мелиоративных задач. Необходимо проанализировать имеющееся количество метеостанций и выявить, является оно достаточным или нет. Первоочередным является исследование состояния гидролого-климатической изученности района проектирования и сопредельных территорий, формирование банка гидрометеорологических и др. экспериментальных данных в контексте реализуемой научной деятельности. Естественно, чем больше величина площади обслуживания действующих метеостанции, тем хуже. Очевидно, что чем ближе будет находиться метеостанция к проектируемому объекту, тем надежнее будет точность инженерных расчетов и, в итоге, качество проектируемых мероприятий.

Нами были установлены на территории Беларуси районы, наименее обеспеченные данными инструментальных наблюдений (рисунок). При проектировании мелиоративных мероприятий и объектов, находящихся в этих районах, могут возникнуть проблемы в нехватке точных гидрометеорологических данных, что, впоследствии, может привести к неблагоприятному влиянию на окружающую среду и ухудшению полезности проектируемых мероприятий. Многими исследователями отмечается, что данные, например, об атмосферных осадках при расстоянии от проектируемого объекта свыше 20 км становятся независимыми.

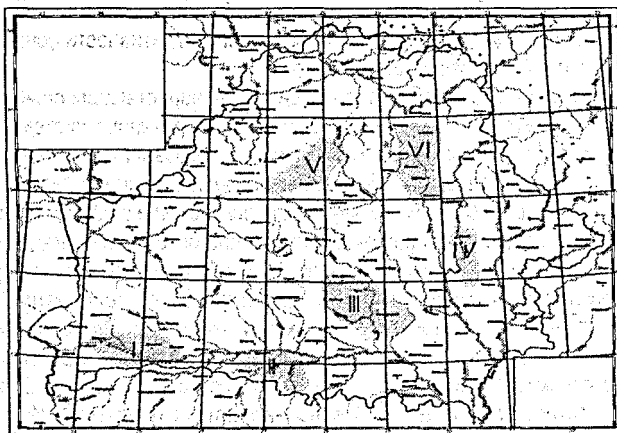


Рисунок – Районы, наименее охваченные данными инструментальных наблюдений

Проблемы в ходе проектирования эколого-мелиоративных и других водохозяйственных мероприятий могут возникнуть в 6 установленных районах, размерами от 20-30 км (IV район) до 60-80 (I район). В обозначенных районах расстояние до ближайших метео-

станций может составлять 50-70 и более километров, максимально в VI районе 75 км. В таблице 1 приведена географическая привязка обозначенных районов, указаны их параметры и доли площадей в границах административных районов.

На территории Беларуси находится 118 административных районов, в 18 из них, при проектировании эколого-мелиоративных мероприятий и объектов могут возникнуть проблемы в нехватке точных гидрометеорологических данных, что впоследствии может привести к неблагоприятному влиянию на окружающую среду и ухудшению полезности проектируемых мероприятий.

По методу гидролого-климатических расчетов В.С. Мезенцева были выполнены тепловодобалансовые расчеты для средnezасушливого года (75%-ая обеспеченность дефицитов почвенных влагозапасов) по каждому району.

Таблица 1 – Данные о районах, наименее охваченных данными инструментальных наблюдений

Расположение	Районы		
	I	II	III
Расположение	юго-запад Брестской обл.	юг Брестской обл.	юго-восток Минской обл., юго-запад Могилевской обл., северо-запад Гомельской обл.
Протяженность, км	60 – 80	30 – 50	40 – 70
Охватываемые административные районы	Ивановский (1/3), Кобринский (2/5), Дрогичинский (1/3)	Столинский (4/5)	Октябрьский (1/3), Любаньский (2/5), Стародорожский (1/3), Глусский (2/3)
Расположение	Районы		
	IV	V	VI
Расположение	юг Могилевской обл., север Гомельской обл.	север Минской обл., юго-запад Витебской обл.	юго-восток Витебской обл., северо-запад Могилевской обл., северо-восток Минской обл.
Протяженность, км	20 – 30	40 – 80	50 – 80
Охватываемые административные районы	Бьховский (1/3), Рогачевский (1/5)	Логойский (2/3), Борисовский (1/6), Минский (1/7)	Круглянский (1/6), Толочинский (1/4), Крупский (2/5), Сенненский (1/3), Чашникский (1/3)

В таблице 2 представлены данные, показывающие значительные внутригодовые расхождения избытков и дефицитов влагозапасов почвы 75%-ой обеспеченности, полученные по данным различных метеостанций. Для некоторых периодов максимальные разности соизмеримы с количеством атмосферных осадков, выпадающих в эти периоды.

Таблица 2 – Избытки и дефициты почвенных влагозапасов 75 %-ной обеспеченности, полученные по данным различных метеостанций, мм

Метеостанции	I район						
	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Брест	-5	-36	-65	-99	-112	-115	-92
Пинск	2	-22	-68	-87	-101	-101	-71
Пружаны	3	-20	-39	-71	-76	-73	-44
Максимальная разность, мм	8	16	29	28	36	42	48
Метеостанции	II район						
	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Житковичи	-3	-43	-84	-110	-118	-105	-78
Пинск	-2	-30	-81	-104	-122	-127	-100
Лельчицы	-15	-49	-92	-125	-129	-132	-109
Максимальная разность, мм	12	19	11	21	11	27	31

Продолжение табл. 2

III район							
Метеостанции	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Василевичи	4	-32	-68	-85	-99	-92	-60
Жлобин	2	-31	-72	-98	-103	-94	-60
Марьино-Горка	6	-24	-59	-74	-82	-73	-43
Максимальная разность, мм	4	8	13	24	21	21	17
IV район							
Метеостанции	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Бобруйск	6	-28	-62	-80	-82	-67	-32
Жлобин	6	-24	-61	-84	-84	-71	-34
Могилев	16	-4	-33	-53	-54	-40	6
Максимальная разность, мм	10	24	29	31	30	31	40
V район							
Метеостанции	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Борисов	12	-14	-46	-68	-74	-52	-10
Вилейка	4	-24	-59	-71	-62	-48	-15
Минск	10	-11	-44	-64	-64	-52	-18
Максимальная разность, мм	8	10	15	7	12	4	8
VI район							
Метеостанции	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Витебск	8	-18	-53	-53	-42	-10	35
Лепель	14	0	-23	-29	-17	9	53
Орша	15	-4	-43	-42	-35	-6	42
Максимальная разность, мм	7	18	30	24	25	19	18

Результаты расчета дефицитов и избытков почвенных влагозапасов по данным различных метеостанций для объектов, находящихся в выделенных районах, показывают статистическую значимость полученных расхождений, что, в итоге, определяет: оптимизацию сети мониторинга, обслуживающей водохозяйственный комплекс Беларуси; разработку методов аналитической оценки требуемых в инженерных эколого-мелиоративных расчетах показателей при отсутствии или недостаточности экспериментальных данных; разработку методов картографирования и построение карт, содержащих гидрометеорологическую информацию с целью дальнейшей интерполяции и получения данных в требуемых точках.

Данные направления актуальны и могут являться предметом дальнейших научных исследований. В настоящее время для решения текущих задач обосновываются наиболее рациональные методы пространственной интерполяции данных.

УДК 628.162

*Вдовиченко И.Г.*

*Научный руководитель: д.т.н, профессор Гуринович А.Д.*

### СПОСОБ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОПУТНЫМ ЗАБОРОМ ВОДЫ, ВЫРАБОТКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ОЧИСТКОЙ ВОДЫ ОЗОНИРОВАНИЕМ (ВАРИАНТЫ)

Вода обеспечивает важнейшие для человека жизненные функции – бытовое водопотребление, удовлетворение санитарно – гигиенических потребностей, а также производство продовольствия и промышленной продукции. Питьевая вода играет основную роль



в регулировании физиологических процессов в организме человека и поэтому признается незаменимым пищевым продуктом.

Основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения на территории Беларуси являются пресные подземные воды. Их доля в общем водопотреблении составляет в настоящее время 95% [1].

Сегодня в республике разведано более 200 месторождений пресных подземных вод. Две трети из них эксплуатируются, обеспечивая централизованное водоснабжение 89 городов, промышленных центров и крупных населенных пунктов. Кроме того, для хозяйственно-питьевого водоснабжения Полоцка, Минска, Гомеля и Гродно частично используются поверхностные воды. Потребление воды на одного жителя в республике составляет около 200 литров в сутки (в Минске – 380, Солигорске – 400, Могилеве – 325 литров в сутки), что выше, чем в большинстве стран Европы (100-150 литров в сутки). Большая часть (70%) подземных вод расходуется на хозяйственно-питьевое водоснабжение. На производственные нужды уходит 15%, на сельхозводоснабжение – 14%, и на орошение – менее 1%. Подземные воды в РБ по объемам ежегодного использования многократно превосходят массу всех вместе взятых других добываемых из недр природных ресурсов [1].

По суммарным годовым запасам водных ресурсов по данным 2006 года наша страна находится на 75 месте из 153 стран мира с показателем 73,8 куб. км. Естественные ресурсы пресных подземных вод оцениваются в 15,9 км<sup>3</sup> в год (43,5 млн. м<sup>3</sup> в сутки) [2]. Они распространены по всей территории Беларуси на глубинах от 100 до 450 м. Взаимодействие различных факторов определяет неравномерный характер распределения подземных вод, что в целом соответствует региональным различиям поверхностного стока. Значительные ресурсы подземных вод находятся в бассейне Днепра с притоками Березина и Сож – 34,4%, на бассейн Немана с Вилией приходится 28,2%, Западной Двины и Припяти – 33,7%. Наименьшие запасы обнаружены в бассейне Западного Буга и Нарева, они составляют 3,7% суммарных ресурсов пресных подземных вод Беларуси [1].

Хотя общий водоотбор составляет сегодня менее 10% от прогнозных эксплуатационных ресурсов, однако для Беларуси характерна довольно значительная дифференциация водообеспеченности, которая усугубляется неравномерным размещением населения и производства. В ряде регионов ощущается реальная нехватка пресной воды питьевого качества. Имеет место расточительное использование воды в коммунальном хозяйстве городов, на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях. Вследствие неравномерного распределения водных ресурсов на территории Республики Беларусь в пределах многих промышленных районов имеет место высокая степень использования эксплуатационных запасов подземных вод. Практически полностью используются запасы подземных вод (75-125%) в Минском, Узденском, Несвижском, Пружанском, Каменецком, Поставском и Кричевском районах, а в Чашницком, Кормянском, Любанском и Климовичском районах превышение эксплуатационных запасов составляет 130-150%. Наряду с количественными показателями, которые для нашей республики в целом достаточно благополучны, при оценке водных ресурсов необходимо учитывать и их качественные характеристики. Подземные воды более чем в 70% разведанных месторождений Республики Беларусь не отвечают санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к качеству природных вод, обладают высокой коррозионной активностью и поэтому без предварительной очистки и стабилизационной обработки не могут быть использованы для целей питьевого водоснабжения. На многих водозаборах, расположенных вли-

зи промышленных предприятий и в зоне застройки городских территорий, в последние годы все чаще имеют место факты локального загрязнения подземных вод. Ухудшение качества подземных вод наблюдается на 36 водозаборах республики, а на 13 – содержание загрязняющих веществ по одному или нескольким ингредиентам превышает предельно допустимые концентрации. Последние исследования показали, что наметились ощутимые понижения среднегодовых уровней грунтовых вод [3].

Из вышесказанного следует тот факт, что подземные воды нашей страны нуждаются в защите от загрязнений вследствие хозяйственной деятельности и в искусственном восполнении.

По гидрогеологическим и техническим условиям можно выделить 3 основных типа искусственного восполнения подземных вод:

- 1) открытое восполнение при поверхностной фильтрации из инфильтрационных бассейнов и каналов;
- 2) закрытое восполнение при фильтрации через скважины и колодцы;
- 3) комбинированное восполнение подземных вод, сочетающее в себе два предыдущих типа.

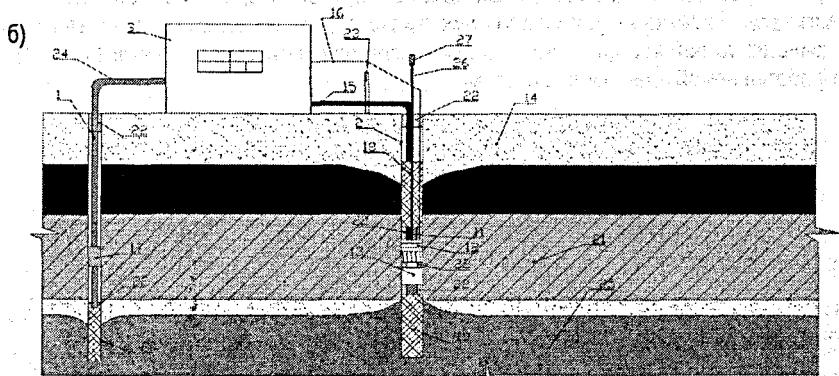
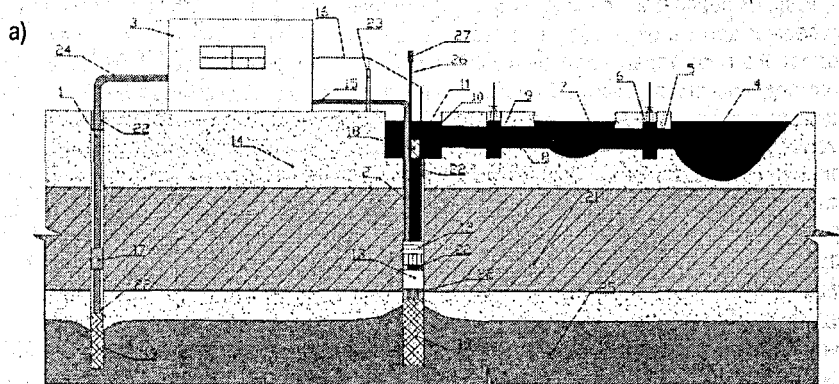
Нами предложен способ искусственного восполнения подземных вод, позволяющий одновременно с восполнением подземных вод производить забор воды, идущей на цели восполнения подземных вод без затраты электроэнергии, вырабатывать электроэнергию, используя энергию тока воды, и очищать воду, служащую для восполнения подземных вод, озонированием, путем использования в качестве водоподъемного устройства гидротарана, совмещенного с электрогенератором, а в качестве устройства для очистки воды – озонатора.

Сущность способа искусственного восполнения подземных вод с попутным забором воды, выработкой электроэнергии и очисткой воды озонированием поясняется рисунком 1.

Способ искусственного восполнения подземных вод с попутным забором воды, выработкой электроэнергии и очисткой воды озонированием действует следующим образом.

При расположении в непосредственной близости к водозаборным скважинам 1 имеющегося водозаборного сооружения 3, использующего подземные воды, запасы которых требуют восполнения, водотока (реки, озера, водохранилища и т.д.) применяется первый вариант способа искусственного восполнения и забора подземных вод с попутной выработкой электроэнергии и очисткой воды озонированием.

Вода из водотока 4 по первичному каналу 5, пройдя через первичный шлюз 6, поступает в поверхностный накопитель воды 7, далее вода проходит по вторичному каналу 8 через вторичный шлюз 9 в третичный канал 10. Из третичного канала 10 вода подается в трубу подачи воды в озонатор 11, насыщается озоном, пройдя через озонатор 12. Затем в гидротаран, совмещенный с электрогенератором 13, после чего вода из водотока 4 поглощается вторым водоносным горизонтом 25, насыщая его озоном, который очищает воду данного водоносного горизонта от микроорганизмов и вредных веществ. Приводимый в работу гидротаран, совмещенный с электрогенератором 13, подает насыщенную озоном воду из водотока 4 на водозаборное сооружение 3 посредством трубы подачи воды потребителю 15. Электроэнергия, вырабатываемая при работе гидротарана, совмещенного с электрогенератором 13, подается на хозяйственные нужды и на озонатор 12 при помощи силового кабеля 16.



а) – схема сооружений для искусственного восполнения подземных вод с сопутным забором воды, выработкой электроэнергии и очисткой воды озонированием (1-ый вариант); б) – схема сооружений для искусственного восполнения подземных вод с сопутным забором воды, выработкой электроэнергии и очисткой воды озонированием (2-ой вариант); 1 – водозаборная скважина; 2 – водопоглощающая скважина; 3 – водозаборное сооружение; 4 – водоток; 5 – первичный канал; 6 – первичный шлюз; 7 – поверхностный накопитель воды; 8 – вторичный канал; 9 – вторичный шлюз; 10 – третичный канал; 11 – труба подачи воды в озонатор; 12 – озонатор; 13 – гидротаран, совмещенный с электрогенератором; 14 – первый водоносный горизонт; 15 – труба подачи воды потребителю; 16 – силовой кабель; 17 – насос; 18, 19, 20 – фильтры; 21 – первый водоупорный горизонт; 22 – гидроизоляция; 23 – опора для фиксации силового кабеля 16; 24 – всасывающий трубопровод; 25 – второй водоносный горизонт; 26 – трубка подачи воздуха в озонатор; 27 – фильтр очистки воздуха

Рисунок 1 – Схема сооружений для искусственного восполнения подземных вод с сопутным забором воды, выработкой электроэнергии и очисткой воды озонированием

При отсутствии в непосредственной близости к водозаборным скважинам 1 имеющегося водозаборного сооружения 3, использующего подземные воды, запасы которых требуют восполнения, водотока, применяется второй вариант способа искусственного восполнения и забора подземных вод с сопутной выработкой электроэнергии и очисткой воды озонированием.

Вода из первого водоносного горизонта 14, пройдя через фильтр 18, поступает в трубу подачи воды в озонатор 11, и далее в озонатор 12, где насыщается озоном. Затем подается в гидротаран, совмещенный с электрогенератором 13, после чего вода из первого водоносного горизонта 14 поглощается вторым водоносным горизонтом 25, насыщая его озоном, который очищает воду данного водоносного горизонта от микроорганизмов и вредных веществ. Приводимый в работу гидротаран, совмещенный с электрогенератором 13, подает насыщенную озоном воду из первого водоносного горизонта 12 на водозаборное сооружение 3 посредством трубы подачи воды потребителю 15. Электроэнергия, вырабатываемая при работе гидротарана, совмещенного с электрогенератором 13, подается на хозяйственные нужды и на озонатор 13 при помощи силового кабеля 16.

Таким образом, данный способ искусственного восполнения подземных вод с попутным забором воды, выработкой электроэнергии и очисткой воды озонированием позволяет совместить искусственное восполнение подземных вод с одновременной выработкой электроэнергии, очисткой и подачей воды потребителю, путем использования в качестве водоподъемного устройства гидротарана, совмещенного с электрогенератором, а в качестве устройства для очистки воды – озонатора, питаемого частью электроэнергии, вырабатываемой электрогенератором.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. <http://belgeologiya.orfica.com/index.php?type=review&area=1&p=articles&id=9>
2. Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия. – 2010.
3. <http://ecoinfoby.net/index.php>
4. <http://www.mybntu.com/general/ecology.html>
5. Установка очистки воды для искусственного пополнения подземных вод: патент № 85504 РФ, кл. E03B3/32 / М.А. Иванов. – М., 2009.
6. Гидроэнергетическая установка: патент № 2376495 РФ, кл. F03B13/06, F03B13/00 / В.В. Бородин, М.А. Будниченко, Б.Л. Историк, Ю.В. Кондрашев, В.П. Пастухов, М.С. Рудяк, И.Н. Усачев, Ю.Б. Шполянский. – М., 2006.
7. Гидрогеознергостанция (варианты): патент № 2376495 РФ, кл. F03G7/04, F03B13/00 / А.Д. Елисеев. – М., 2008.
8. Скважинная гидроаккумулирующая электростанция: патент № 2377436 РФ, кл. F03B13/06, F03B13/10 / А.Д. Елисеев. – М., 2008.

УДК 620

**Власова Т.А.**

*Научный руководитель: д.т.н., профессор Северянин В.С.*

#### ГЕЛИОУСТАНОВКИ ДЛЯ ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

##### Введение

Около половины вырабатываемой электроэнергии расходуется на освещение. Развитие электротехники начиналось именно с удовлетворения этой потребности.

Освещаемые объекты можно разделить на две группы:

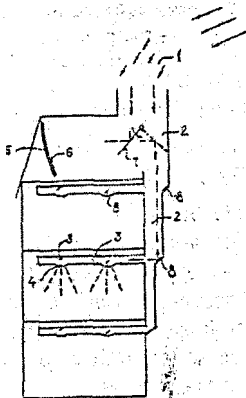
- 1) строгое выполнение параметров освещенности;
- 2) дежурное, вспомогательное освещение.

Например, в аудиториях требуется определенный уровень светового потока, отсутствие мигания, максимальное приближение к солнечному спектру и т.д. В то же время

коридорах, в фойе, лестничных площадках достаточно освещения по более низкому уровню. Эта задача может быть решена при помощи новых технологий, исключающих потребление электроэнергии, что может дать большой экономический эффект.

### Известные разработки

Профессором Северяниным В.С. впервые для этой цели предложено "консервировать" солнечный свет при помощи люминофоров и расходовать запасенный за время действия Солнца "запас фотонов" по мере необходимости. В схеме по [1], система освещения включает светоприемник и расположенный под ним перископ с примыкающими к нему световодами, содержит осветители и зеркала, перископ содержит поворотные зеркала, расположенные в фокусе вогнутых поверхностей. Они покрыты слоем люминофора, укреплены с возможностью подачи части светового потока солнечных лучей на указанные поверхности, а также с возможностью передачи излучения от указанных поверхностей в световоды после осуществления поворота зеркала. Здесь люминофор позволяет вести кратковременное освещение, например, при заходе Солнца за тучи. Длительное хранение света требует других конструктивных решений.



- 1 – внешние зеркала; 2 – перископ; 3 – световод;
- 4 – лампы; 5 – отражатель; 6 – слой люминофора;
- 7 – поворотное зеркало; 8 – зеркало световода

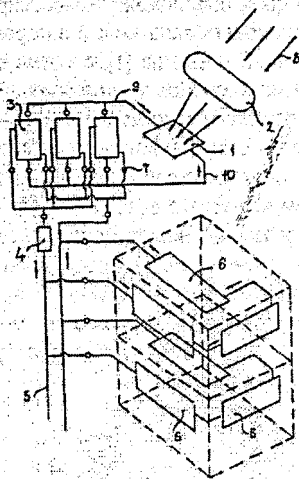
Рисунок 1 – Совмещенное освещение световодами и люминофорами

В изобретении по [2] описано, что способ освещения помещений и объектов излучением фосфоресцирующего жидкого люминофора включает возбуждение жидкого люминофора солнечным светом в устройстве для экспозиции (1), концентрируя солнечный свет с помощью концентратора (2), накапливание возбужденного люминофора в емкостях (3), механическую передачу возбужденного люминофора из емкостей в осветительные приборы с помощью насоса (4) по распределительным сетям (5), и возбужденного люминофора (9) в емкостях путем естественной циркуляции за счет подачи в емкости отработанного люминофора (10), обеспечивая при этом возможность поступления возбужденного люминофора из устройства для экспозиции, снизу, при этом используют люминофоры, дающие различные цвета при фосфоресценции, а замену люминофоров осуществляют путем переключения потоков люминофоров, каждый из которых имеет свою емкость. Емкости и трубопроводные коммуникации позволяют более длительно и адекватно обеспечивать светом потребителей. Важным элементом схемы является гелиоконцентратор.

Гелиоконцентратор представляет собой [3, 4] оптическую систему и приемник лучистой энергии. Солнечный концентратор выполнен в виде концентрических конусов, отделенных друг от друга, способных отражать солнечный поток на приемник лучистой энергии, конусы закреплены радиусами на кольце, имеющем оси и рычаги, оси через

стойки опираются на платформу, а рычаги связаны тягами с кожухом, способным посредством штифта перемещаться вверх-вниз по колонне, штифт опирается на цилиндр, расположение которого вдоль колонны обусловлено опорой. Связанный через колесо и прижим с платформой, имеющей привод, приемник лучистой энергии выполнен в виде емкости, установленной на вершине колонны, имеющей основание. Трубопроводы про-

ложены внутри колонны, а приемник лучистой энергии – в фокусе конусов. Эти предварительные разработки требуют дальнейшего продвижения: поиска необходимого люминофора.



- 1 – облучатель; 2 – солнечный концентратор;  
3 – емкость; 4 – насос; 5 – распределительная  
трубопроводная сеть; 6 – осветительные панели;  
7 – вентили; 8 – солнечные лучи; 9 – возбужденный  
люминофор; 10 – отработавший люминофор.

Рисунок 2 – Люминофорное освещение с баками и трубопроводами.

### Люминофоры [5, 6]

Люминофоры (от латинского *lumen* – свет и греческого *phoros* – несущий), твердые и жидкие вещества, способные люминесцировать

под действием различного рода возбуждений. По химической природе различают органические люминофоры (органолюминофоры) и неорганические (фосфоры). Фосфоры, имеющие кристаллическую структуру, называются кристаллофосфорами.

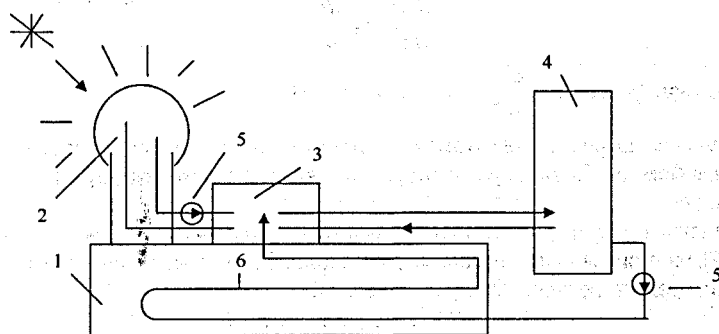
Свечение люминофора может быть обусловлено как свойствами основного вещества, так и наличием примеси – активатора. Активатор образует в основном веществе (основании) центры свечения. Название активированных люминофоров складывается из названия основания и названия активаторов, например:  $ZnS \cdot Cu$ ,  $Co$  обозначает Люминофор  $ZnS$ , активированный  $Cu$  и  $Co$ . Если основание смешанное, то перечисляют сначала названия оснований, а затем активаторов (например,  $ZnS, CdS \cdot Cu, Co$ ).

Люминофор применяют для преобразования различных видов энергии в световую. В зависимости от условий применения предъявляются определенные требования к тем или иным параметрам люминофора: типу возбуждения, спектру возбуждения (для фотолюминофоров), спектру излучения, выходу излучения (отношения излученной энергии к поглощенной), временным характеристикам (времени возбуждения свечения и длительности послесвечения). Энергетический выход излучения люминофора зависит от вида возбуждения, его спектра (при фотолюминесценции) и механизма преобразования энергии в световую. Он резко падает при повышении концентрации люминофора и активатора (концентрационное тушение) и температуры (температурное тушение). Яркость люминесценции (свечения) люминофора нарастает с начала возбуждения в течение промежутка времени от 10<sup>-9</sup> сек до нескольких мин. Длительность послесвечения различных люминофоров колеблется от 10<sup>-9</sup> сек до нескольких часов и определяется характером преобразования энергии и временем жизни возбужденного состояния. Наибо-

лее короткое время послесвечения имеют органолюминофоры, наиболее длительное – кристаллолюминофоры. В зависимости от условий применения могут играть существенную роль и другие свойства люминофора – стойкость к действию света, тепла, влаги, безопасность в обращении с ними и т.д.

### Предлагаемая схема

В данной работе впервые предлагается, в развитии вышеописанной схемы, перемещение люминофора от "зарядки" в приемнике солнечной энергии до емкости для хранения и далее до потребителя и обратно – при помощи не только жидкой среды (вода и т.д.), в которой растворен люминофор, но и газа (воздуха, CO<sub>2</sub> и т.д.). Тогда станет возможным использовать порошковый люминофор, нерастворимый в воде или требующей высоких температур для переводов в жидкое состояние. Мелкие частицы люминофора в виде тумана, суспензии потоком газа перемещаются вдоль прозрачной поверхности приемника солнечных лучей и вдоль прозрачной светоотдающей поверхности у потребителя. Запас облученных частиц хранится в баке в виде массы порошка. Для транспортировки порошок взмучивается механически или струями и транспортируется по назначению. Перед возвратом в бак порошок сепарируется.



1 – помещение (коридор, лестница и т.д.); 2 – облучатель; 3 – сепаратор;  
4 – бак-накопитель; 5 – вентиляторы; 6 – осветитель

Рисунок 3 – Люминофорное освещение с аэродинамическим перемещением люминофора

На рис.3 показана предлагаемая схема освещения помещения 1. Люминофор запасает свет в облучателе 2 (гелиоконцентратор с приемником), через сепаратор 3 подается в бак-накопитель 4, вентилятором 5 запускается в трубчатый прозрачный осветитель 6. Циркулируя по контуру 3-4-6, он отдает свет, а по контуру 2-3 – облучается. Конкретные конструкции, автоматика, переключения – предмет последующего исследования.

### Выводы

1. Гелиоустановки можно использовать не только для выработки электроэнергии или теплоты, но и для аккумуляции световых потоков с целью последующего освещения некоторых объектов, чем достигается энергосберегающий эффект.

2. Необходимы исследования по выбору и использованию люминофоров в данной схеме.

3. Конструкции люминофорной гелиоустановки могут быть аналогичны известным для нагрева жидкостей или газов.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Система освещения: пат. РБ №6524-с1, F21S 11/00 / В.С. Северянин. – 2004.
2. Способ освещения помещений и объектов: пат. РБ №6369-с1, F21K 2/00 / В.С. Северянин. – 2004.
3. Гелиоустановка: пат. РБ №3998-У, F24J 2/00 / В.С. Северянин. – 2007.
4. Гелиоконцентратор: пат. РБ №4296-У, F24J 2/00 / В.С. Северянин. – 2007.
5. <http://www.fluoreinterior.ru>
6. Политехнический словарь / А.Ю. Ишлинский. – М.: Сов. энциклопедия, 1989. – С. 278, 571.

УДК 551.492

Гетман В.А., Ефимик С.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Махнист Л.П.

## О ПРИБЛИЖЕНИИ РЕШЕНИЯ ОДНОГО СТОХАСТИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ГИДРОЛОГИИ

### Введение

В работе рассматривается модель процесса многолетних колебаний речного стока, представленная в виде дифференциального уравнения [1]:

$$\frac{d^2\theta_1}{d\xi^2} - \xi \frac{d\theta_1}{d\xi} = -1 \quad (1)$$

с краевыми условиями  $\frac{d\theta_1}{d\xi}(\infty) = 0$ ,  $\theta_1(\xi_*) = 0$ .

Эта модель, широко используемая в стохастической гидрологии, получена на основе уравнения Фоккера-Планка, при некоторых условиях на переходную функцию плотности вероятности.

Уравнение (1), приведенное в [1], при решении различных прикладных задач, например, в [2], интегрировалось численными методами. В [3] получено точное решение уравнения (3), представленное в виде степенного ряда:

$$\theta_1(\xi) = S_1(\xi) - S_1(\xi_*), \quad (2)$$

где  $S_1(\xi) = \sum_{k=1}^{+\infty} \left(\frac{\pi}{2}\right)^{\{t\}} \frac{(-1)^{k-1} \xi^k}{(k-1)!k}$ , а  $\{t\}$  – дробная часть числа  $t$ .

В [4] получены условия для вычисления суммы сходящегося ряда в соотношении (2) с заданной степенью точности. Анализ полученных результатов и их программной реализации позволяет сделать вывод о необходимости исследования асимптотического поведения решения (2) и соответствующих рядов [5].

### О приближении решения уравнения

Функция  $\theta_1(\xi)$  является возрастающей на всей числовой прямой, так как

$$\frac{d\theta_1}{d\xi} = \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)}, \quad \text{где } \Phi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\xi e^{-\frac{t^2}{2}} dt \text{ – интеграл вероятностей, а}$$

$$\varphi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\xi^2}{2}} \text{ – плотность стандартного нормального распределения.}$$

Исследуем функцию  $\theta_1(\xi)$  на вогнутость и выпуклость.



Так как  $\frac{d^2\theta_1}{d\xi^2} = \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} \xi - 1$ , то  $\frac{d^2\theta_1}{d\xi^2} < 0$ , если  $\xi \leq 0$ .

Учитывая, что для любого  $\xi > 0$  выполняется

$$\int_{\xi}^{+\infty} \frac{(t^2 + 1)e^{-\frac{t^2}{2}} dt}{t^2} = \frac{e^{-\frac{\xi^2}{2}}}{\xi} \quad \text{и} \quad \int_{\xi}^{+\infty} \frac{(t^4 + 4t^2 - 3)e^{-\frac{t^2}{2}} dt}{(t^2 + 3)^2} = \frac{\xi e^{-\frac{\xi^2}{2}}}{\xi^2 + 3}, \quad \text{получаем}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{\pi}{2}} - \int_0^{\xi} e^{-\frac{t^2}{2}} dt &= \int_{\xi}^{+\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt < \int_{\xi}^{+\infty} \frac{t^6 + 6t^4 + 9t^2 + 6}{t^2(t^2 + 3)^2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \int_{\xi}^{+\infty} \frac{2(t^2 + 1)e^{-\frac{t^2}{2}}}{3t^2} dt + \\ &+ \int_{\xi}^{+\infty} \frac{(t^4 + 4t^2 - 3)e^{-\frac{t^2}{2}}}{3(t^2 + 3)^2} dt = \frac{2e^{-\frac{\xi^2}{2}}}{3\xi} + \frac{\xi e^{-\frac{\xi^2}{2}}}{3(\xi^2 + 3)} = \frac{(\xi^2 + 2)e^{-\frac{\xi^2}{2}}}{\xi(\xi^2 + 3)} \quad \text{или} \\ &\frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} < \frac{\xi^2 + 2}{\xi(\xi^2 + 3)}. \end{aligned}$$

Заметим, что выполняется равенство:

$$\int_{\xi}^{+\infty} \frac{(t^2 - 1)e^{-\frac{t^2}{2}} dt}{(t^2 + 1)^2} = -\left. \frac{te^{-\frac{t^2}{2}}}{t^2 + 1} \right|_{\xi}^{+\infty} + \int_{\xi}^{+\infty} \frac{tde^{-\frac{t^2}{2}}}{t^2 + 1} = \frac{\xi e^{-\frac{\xi^2}{2}}}{\xi^2 + 1} - \int_{\xi}^{+\infty} \frac{t^2 e^{-\frac{t^2}{2}} dt}{t^2 + 1}$$

Тогда для  $\xi > 0$  получаем

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{\pi}{2}} - \int_0^{\xi} e^{-\frac{t^2}{2}} dt &= \int_{\xi}^{+\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt > \int_{\xi}^{+\infty} \frac{(t^4 + 2t^2 - 1)e^{-\frac{t^2}{2}} dt}{(t^2 + 1)^2} = \\ &= \int_{\xi}^{+\infty} \frac{(t^2 - 1)e^{-\frac{t^2}{2}} dt}{(t^2 + 1)^2} + \int_{\xi}^{+\infty} \frac{t^2 e^{-\frac{t^2}{2}} dt}{t^2 + 1} = \frac{\xi e^{-\frac{\xi^2}{2}}}{\xi^2 + 1} \quad \text{или} \quad \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} > \frac{\xi}{\xi^2 + 1}. \end{aligned}$$

Таким образом, для любого  $\xi > 0$  выполняется неравенство

$$\frac{\xi}{\xi^2 + 1} < \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} < \frac{\xi^2 + 2}{\xi(\xi^2 + 3)}.$$

Следовательно, для любого  $\xi > 0$  выполняется неравенство

$$-\frac{1}{\xi^2 + 1} < \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} \xi - 1 < -\frac{1}{\xi^2 + 3}, \quad \text{т.е.} \quad \frac{d^2\theta_1}{d\xi^2} < 0,$$

и функция  $\theta_1(\xi)$  является выпуклой на всей числовой прямой.

Так как  $\frac{d^3\theta_1}{d\xi^3} = \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} (\xi^2 + 1) - \xi$ , то  $\frac{d^3\theta_1}{d\xi^3} > 0$ , если  $\xi \leq 0$ .

Учитывая, что  $0 < \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} (\xi^2 + 1) - \xi < \frac{2}{\xi(\xi^2 + 3)}$  для любого  $\xi > 0$ , то

$\frac{d^3\theta_1}{d\xi^3} > 0$  и функция  $\frac{d^2\theta_1}{d\xi^2}$  является возрастающей на всей числовой прямой.

Заметим, что для любого  $\xi \geq \xi_0 > 0$  выполняется

$$\theta_1(\xi) = \int_{\xi_0}^{\xi} \frac{0,5 - \Phi(t)}{\varphi(t)} dt \geq \int_{\xi_0}^{\xi} \frac{tdt}{t^2 + 1} = \frac{1}{2} \ln \frac{\xi^2 + 1}{\xi_0^2 + 1} \text{ и}$$

$$\theta_1(\xi) = \int_{\xi_0}^{\xi} \frac{0,5 - \Phi(t)}{\varphi(t)} dt \leq \int_{\xi_0}^{\xi} \frac{(t^2 + 2)dt}{t(t^2 + 3)} = \int_{\xi_0}^{\xi} \frac{2dt}{3t} + \int_{\xi_0}^{\xi} \frac{tdt}{3(t^2 + 3)} = \frac{1}{6} \ln \frac{t^6 + 3t^4}{t_0^6 + 3t_0^4}.$$

Следовательно,  $\frac{1}{2} \ln \frac{\xi^2 + 1}{\xi_0^2 + 1} \leq \theta_1(\xi) \leq \frac{1}{6} \ln \frac{t^6 + 3t^4}{t_0^6 + 3t_0^4}$  для любого  $\xi \geq \xi_0 > 0$ .

Так как для любого

$$\xi \geq 0 \quad \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} < \frac{\xi^2 + 2}{\xi^3 + 3\xi}, \text{ то } \frac{d^4 \theta_1}{d\xi^4} = \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} (\xi^3 + 3\xi) - (\xi^2 + 2) < 0,$$

т.е. функция  $\frac{d^3 \theta_1}{d\xi^3}$  является убывающей на интервале  $[0; +\infty)$ .

Учитывая условие  $\left. \frac{d^3 \theta_1}{d\xi^3} \right|_{\xi=0} = \sqrt{\frac{\pi}{2}}$  и то, что  $\frac{d^3 \theta_1}{d\xi^3} > 0$  имеем

$$0 < \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} (\xi^2 + 1) - \xi \leq \sqrt{\frac{\pi}{2}} \text{ или } \frac{\xi}{\xi^2 + 1} < \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} \leq \frac{\sqrt{\frac{\pi}{2}} + \xi}{\xi^2 + 1}.$$

Следовательно,  $\ln \sqrt{\xi^2 + 1} \leq S_1(\xi) \leq \sqrt{\frac{\pi}{2}} \operatorname{arctg} \xi + \ln \sqrt{\xi^2 + 1}$  (3)

для любого  $\xi \geq 0$ . Учитывая то, что  $\operatorname{arctg} \xi < \frac{\pi}{2}$  и  $\sqrt{\frac{\pi^3}{8}} \approx 1,97$ , имеем неплохое приближение функции  $S_1(\xi)$  при больших значениях  $\xi > 0$ :

$$\ln \sqrt{\xi^2 + 1} < S_1(\xi) < \ln \sqrt{\xi^2 + 1} + 2.$$

Так как функция  $\frac{d\theta_1}{d\xi}$  является убывающей и вогнутой вверх функцией на интервале  $[0; +\infty)$ , то для любого  $x$  ( $0 \leq x \leq \xi$ ) выполняется неравенство

$y_1(x) \leq \theta_1'(x) \leq y_2(x)$ , где  $y_2(x) = \frac{\theta_1'(\xi) - \theta_1'(0)}{\xi} x + \theta_1'(0)$  – уравнение прямой, проходящей через точки  $(0, \theta_1'(0))$  и  $(\xi, \theta_1'(\xi))$ , а  $y_1(x) = (\theta_1'(\xi)\xi - 1)x + \theta_1'(\xi)(1 - \xi^2) + \xi$  – уравнение касательной к кривой  $\theta_1'$  в точке  $(\xi, \theta_1'(\xi))$ .

Тогда  $\frac{\xi^2}{2} + \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} \left( \xi - \frac{\xi^3}{2} \right) < \int_0^{\xi} \frac{0,5 - \Phi(t)}{\varphi(t)} dt < \left( \sqrt{\frac{\pi}{2}} + \frac{0,5 - \Phi(\xi)}{\varphi(\xi)} \right) \frac{\xi}{2}$

и, следовательно,  $0,8278 \approx 0,5 + \frac{0,5 - \Phi(1)}{2\varphi(1)} < S_1(1) < \sqrt{\frac{\pi}{8}} + \frac{0,5 - \Phi(1)}{2\varphi(1)} \approx 0,9545$

и, кроме того,  $S_1(1) \approx 0,9019$ , используя (2).

Тогда для любого  $\xi > 1$  имеем:

$$\ln \sqrt{\xi^2 + 1} + S_1(1) - \ln \sqrt{2} < S_1(\xi) < \ln \sqrt[4]{\xi^6 + 3\xi^4} + S_1(1) - \ln \sqrt[4]{4}. \quad (4)$$

Учитывая, что  $\ln \sqrt[4]{\xi^6 + 3\xi^4} < \ln \sqrt{\xi^2 + 1}$ , получим

$$\ln \sqrt{\xi^2 + 1} + S_1(1) - \ln \sqrt{2} < S_1(\xi) < \ln \sqrt{\xi^2 + 1} + S_1(1) - \ln \sqrt[4]{4},$$

что позволяет вычислять значения функции  $S_1(\xi)$  с точностью не большей чем

$$\ln \sqrt{2} - \ln \sqrt[4]{4} = \ln \sqrt[4]{2} \approx 0,1155.$$

### Выводы

В работе предложено теоретическое обоснование приближения математического ожидания одного из одномерных распределений вероятностей многолетних колебаний речного стока, широко используемого в практике гидрологии.

Анализ методики получения неравенств (3), (4) позволяет получить приближение решения рассматриваемой модели с помощью исследования его производных более высоких порядков.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Найденов, В.И. Нелинейные модели колебаний речного стока / В.И. Найденов, В.И. Швейкина // Водные ресурсы. – М., 2002. – Том 29, № 1. – С. 62-67.
2. Волчек, А.А. Сравнительная оценка марковских и нелинейных моделей годового стока рек Беларуси / А.А. Волчек, С.И. Парфомук // Вестник БрГТУ. – Брест, 2006. – № 5: Физика, математика, информатика. – С. 56-60.
3. Волчек, А.А. О решении одной стохастической модели многолетних колебаний речного стока / А.А. Волчек, И.И. Гладкий, Л.П. Махнист, С.И. Парфомук // Вестник БрГТУ. – Брест, 2008. – № 5: Физика, математика, информатика. – С. 84-87.
4. Волчек, А.А. О сходимости решения одной малопараметрической модели многолетних колебаний речного стока / А.А. Волчек, Л.П. Махнист, В.С. Рубанов // Вестник БрГТУ. – Брест, 2009. – № 5: Физика, математика, информатика. – С. 2-5.
5. Гетман, В.А. Сходимость и свойства решения одного стохастического уравнения / В.А. Гетман, И.И. Гладкий, С.В. Ефимик, Л.П. Махнист // Современные проблемы математики и вычислительной техники: материалы VI Республиканской научной конференции молодых ученых и студентов, Брест, 26-28 ноября 2009 г. – Брест: БрГТУ, 2009. – Ч. 2. – С. 121-126.

УДК 628.316

**Журавель О.М**

**Научный руководитель: ассистент Наумчик Г.О.**

### ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ УФ-СПЕКТРОМЕТРИИ

**Введение.** На кафедре ВВиОВР осуществляются исследования применения озона для очистки и обеззараживания природных и сточных вод. В частности разрабатывается технология снижения окраски производственных сточных вод ОАО «Брестский чулочный комбинат». При изучении механизма действия озона на синтетические красители возникла проблема идентификации продуктов распада красителей. С учетом того, что все

синтетические красители синтезируются из составляющих, имеющих ароматическую природу (соединения с бензольными, нафталиновыми, антраценовыми и другими ядрами), встал вопрос об идентификации данных соединений в природных и сточных водах после деструкции красителей. Основными методами определения данных соединений в органической химии являются инфракрасная и ультрафиолетовая спектроскопии, хроматография. Поскольку на кафедре ВВиОВР имеется современный спектрофотометр СФ-2000, продукты распада красителей исследовались с помощью УФ-спектроскопии. Однако при исследовании данного вопроса в литературных источниках оказалось, что методы идентификации ароматических соединений в водных средах практически не разрабатывались. Имеются только УФ-спектры спектры некоторых органических соединений, хорошо растворимых в воде, таких как фенол, гидрохинон, бензойная кислота. Большинство же УФ-спектров ароматических органических соединений, имеющихся в справочных данных, приводятся для растворов данных соединений в органических растворителях. Проблема заключается в том, что УФ-спектры органических веществ зависят от вида растворителя и от концентрации этих веществ. Поэтому было принято решение исследовать УФ-спектры водных растворов ароматических соединений с целью разработки экспресс-метода анализа данных веществ в природных и сточных водах.

**Методическая часть.** Исследования проводились при помощи спектрофотометра СФ-2000 с использованием кварцевых кювет с длиной оптического пути 10 мм. Шаг сканирования составлял 0,113 нм. Количество циклов накопления – 3. Диапазон длин волн – от 190 до 350 нм. Объектами исследований являлись растворы ароматических соединений в дистиллированной и водопроводной воде. Методика проведения исследования заключалась в следующем:

- при исследовании спектров ароматических соединений в дистиллированной воде вначале снимался спектр соединения с высокой концентрацией, затем методом разбавления концентрация исследуемого раствора снижалась до предела обнаружения;

- при исследовании спектров ароматических соединений в водопроводной воде вначале снимался спектр водопроводной воды без добавления ароматических соединений, затем снимались спектры растворов органических соединений с теми же концентрациями, как и в дистиллированной воде.

**Экспериментальная часть.** Для идентификации ароматических соединений в работе использовался диапазон длин волн от 250 до 350 нм. Спектры поглощения органических соединений в УФ-области в зависимости от электронного строения соединения обуславливаются различными электронными переходами и состоят из нескольких максимумов поглощения на различной длине волны, которые обуславливаются полосами поглощения при возбуждении различных электронных уровней. Существуют следующие полосы поглощения, обусловленные переходом электрона со связывающей  $\pi$ -орбитали на разрыхляющую  $\pi^*$ -орбиталь (обозначается  $\pi \rightarrow \pi^*$ ) – К-полосы, Е-полосы и В-полосы. Е-полосы и В-полосы характерны для ароматических соединений, они обусловлены запрещенными электронными переходами в высокосимметричной молекуле бензола. Интенсивность К-полосы ароматических соединений наиболее высокая, однако данная полоса расположена в более дальней УФ-области (к примеру, для бензола – на длине волны 184 нм.). Интенсивность Е-полосы примерно на порядок ниже, чем К-полосы (молярный коэффициент поглощения К-полосы бензола – 60000, молярный коэффициент поглощения Е-полосы бензола – 7900), но она расположена в более близкой

УФ-области (для бензола на длине волны 204 нм.), что облегчает ее обнаружение с помощью кварцевой УФ-спектроскопии. В-полосы ароматических соединений имеют еще более низкую интенсивность (молярный коэффициент поглощения от сотен до тысяч единиц), но эти полосы находятся в области длин выше 250 нм. Именно данные полосы, несмотря на их невысокую интенсивность, наиболее подходят для идентификации ароматических и многих гетероциклических веществ в природных и сточных водах. Это обусловлено тем, что в данных водах практически всегда присутствуют различные примеси, такие как ионы тяжелых металлов (особенно железо), которые интенсивно поглощают УФ-излучение в области ниже 250 нм., тем самым перекрывая и накладываясь на К-полосы и Е-полосы многих органических соединений. Существуют также полосы поглощения органических соединений, обусловленные  $n \rightarrow \pi^*$  переходом, обозначаемые как R-полосы. Данные полосы расположены в еще более длинноволновой УФ-области однако их значение молярного коэффициента поглощения очень низкое (порядка единиц и десятков), поэтому идентификация органических соединений по данным полосам при низких концентрациях затруднительна [1].

На рисунке 1 представлены спектры поглощения в УФ-области водных растворов толуола в дистиллированной и водопроводной воде соответственно.

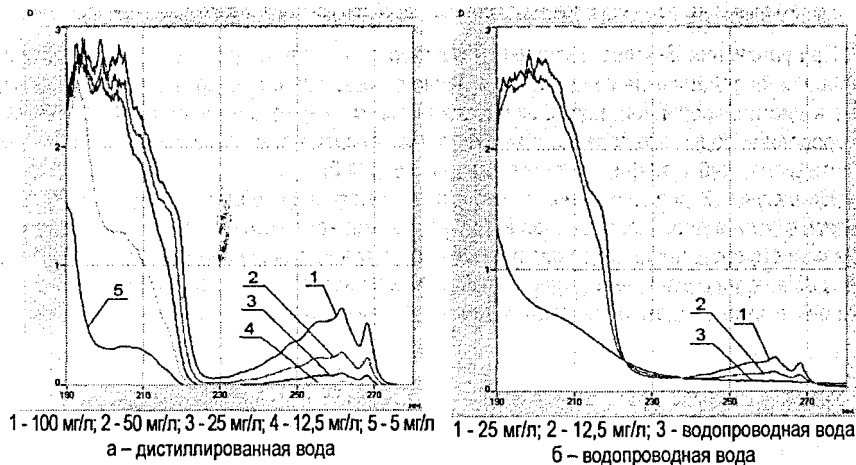
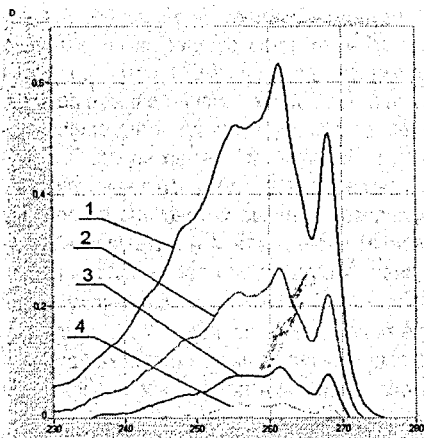


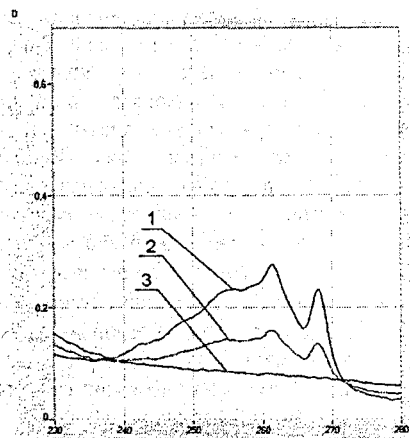
Рисунок 1 – Спектры поглощения толуола в дистиллированной и водопроводной воде

На спектре раствора толуола в дистиллированной воде при концентрации 12,5 мг/л видны К, Е и В – полосы поглощения. При более высокой концентрации К-полосы деформированы, польку при высокой оптической плотности появляются искажения. При концентрации 5 мг/л В-полоса исчезает вследствие малой интенсивности поглощения, поэтому предел обнаружения толуола по В-полосе в дистиллированной воде – около 10 мг/л в кюветках с длиной пути 10 мм. На спектре раствора толуола в водопроводной воде К-полосы деформированы присутствующими примесями, но В-полосы четко просматриваются, несмотря на присутствующие примеси.

На рисунке 2 представлены В-полосы поглощения толуола в дистиллированной и водопроводной воде в увеличенном масштабе.



1 – 100 мг/л; 2 – 50 мг/л; 3 – 25 мг/л; 4 – 12,5 мг/л  
а – дистиллированная вода

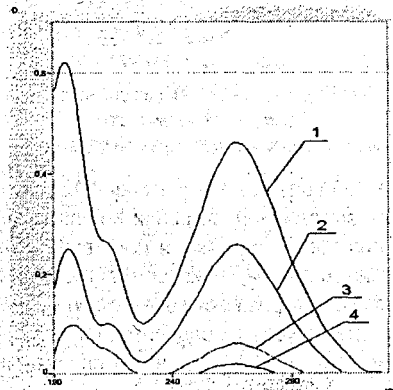


1 – 25 мг/л; 2 – 12,5 мг/л; 3 – водопроводная вода  
б – водопроводная вода

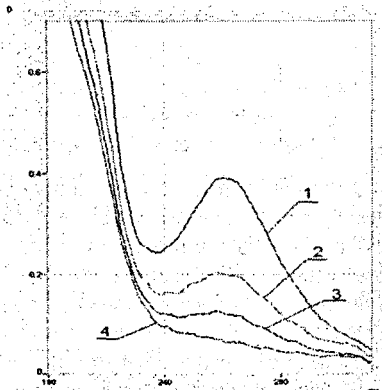
Рисунок 2 – В-полосы поглощения толуола в дистиллированной и водопроводной воде

При сравнении В-полос поглощения растворов толуола на рисунке 2 видно, что минимально определяемая концентрация данного вещества в водопроводной воде выше, чем в дистиллированной, поскольку проявляется маскирующее действие примесей водопроводной воды, это связано с невысокой интенсивностью поглощения В-полосы толуола (молярный коэффициент поглощения равен 200).

На рисунке 3 представлены спектры поглощения в УФ-области водных растворов нитробензола в дистиллированной и водопроводной воде соответственно. Идентификация данного соединения в водном растворе представляет особый интерес, поскольку при деструкции органических красителей, в большинстве своем являющимися азокрасителями, можно ожидать образования именно нитросоединений.



1 – 10 мг/л; 2 – 5 мг/л; 3 – 2 мг/л; 4 – 1 мг/л  
а – дистиллированная вода



1 – 5 мг/л; 2 – 2 мг/л; 3 – 1 мг/л; 4 – водопроводная вода  
б – водопроводная вода

Рисунок 3 – Спектры поглощения нитробензола в дистиллированной и водопроводной воде

Спектры, представленные на рисунке 3, показывают, что в водопроводной воде при длине волны ниже 230 нм поглощение нитробензола перекрывается примесями водопроводной воды, а В-полосы уверенно регистрируются.

На рисунках 4 представлены спектры поглощения в УФ-области водных растворов фенола в дистиллированной и водопроводной воде.

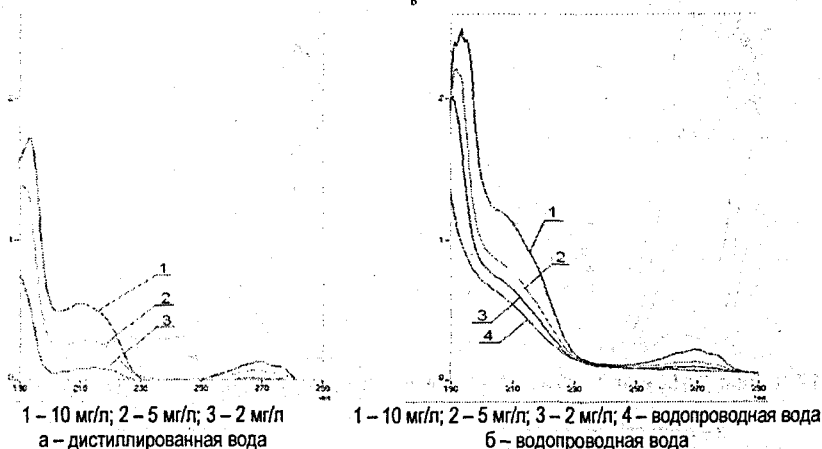


Рисунок 4 – Спектры поглощения фенола в дистиллированной и водопроводной воде

Аналогично спектры фенола в водопроводной воде по сравнению со спектрами в дистиллированной в области ниже 230 нм искажаются примесями, а В-полосы поглощения на длине волны 270 нм отчетливо просматриваются, однако имеют более высокие уровни, поскольку суммируются с фоном поглощения примесей водопроводной воды.

На рисунке 5 показаны В-полосы поглощения фенола в дистиллированной и водопроводной воде в увеличенном масштабе.

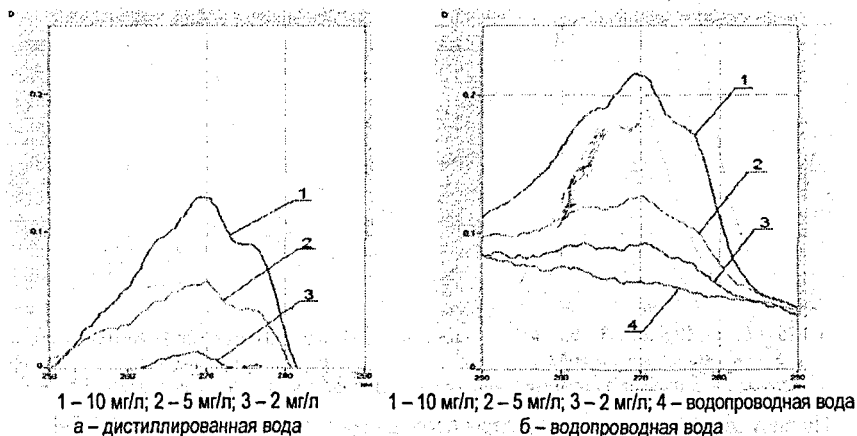
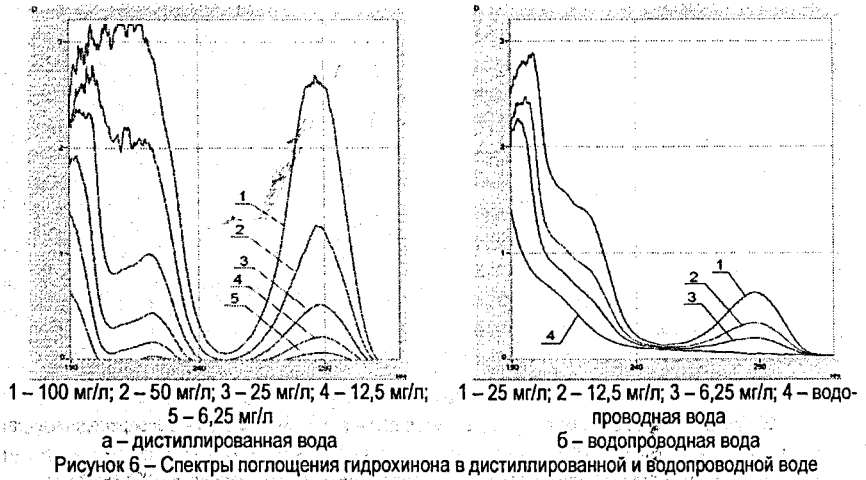
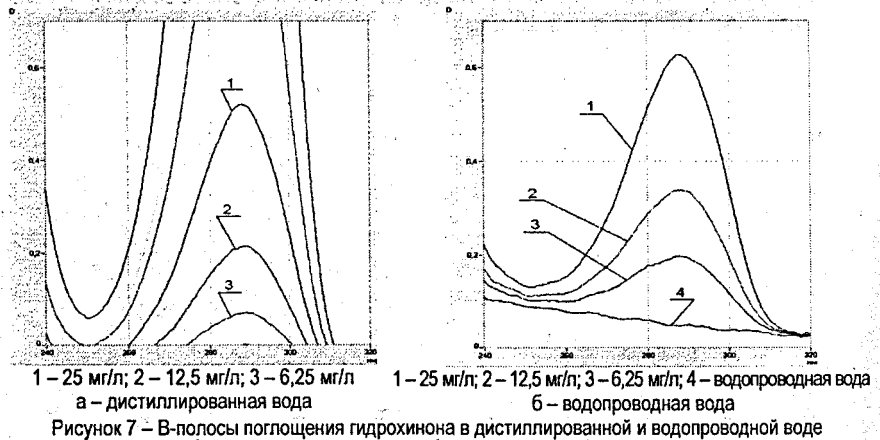


Рисунок 5 – В-полосы поглощения фенола в дистиллированной и водопроводной воде

На рисунке 6 представлены спектры поглощения в УФ-области водных растворов гидрохинона в дистиллированной и водопроводной воде. Гидрохинон является производным бензола с двумя ОН-заместителями в параположении. Двухзамещенные производные бензола обладают более высокими коэффициентами молярного поглощения, поэтому лучше фиксируются с помощью УФ-спектроскопии.



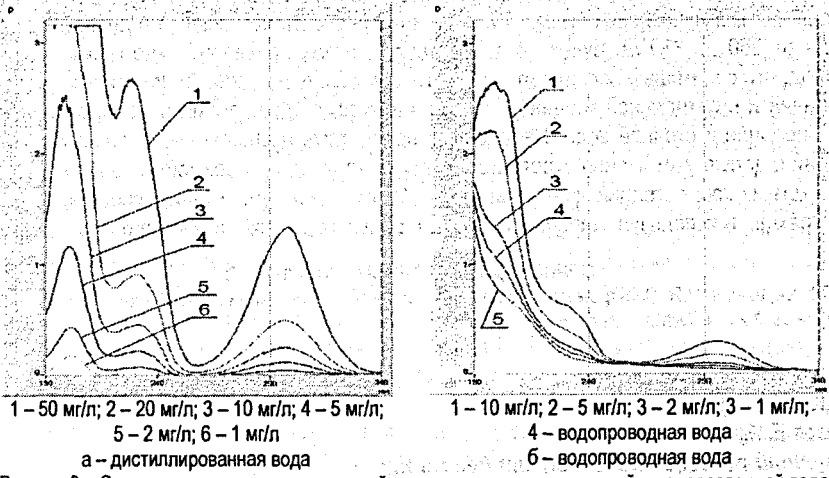
На спектрах поглощения гидрохинона в дистиллированной воде четко видны максимумы поглощения, соответствующие Е и В – полосам поглощения, а на спектрах поглощения гидрохинона в водопроводной воде Е-полосы искажены примесями. В-полосы поглощения отчетливо прослеживаются независимо от примесей. На рисунке 7 показаны спектры поглощения гидрохинона, соответствующие В-полосам в увеличенном масштабе.



На рисунке 8 представлены спектры поглощения в УФ-области водных растворов салициловой кислоты в дистиллированной и водопроводной воде. Салициловая кислота



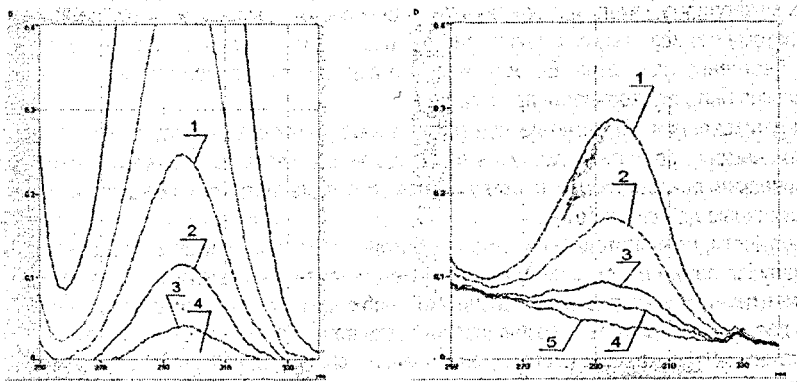
также является двузамещенным ароматическим производным бензола. При окислении ароматических соединений конечными продуктами окисления (при сохранении бензольного ядра) являются ароматические кислоты, поэтому идентификация данных соединений также представляет большой интерес с точки зрения возможности идентификации продуктов деструкции красителей под действием сильных окислителей.



1 – 50 мг/л; 2 – 20 мг/л; 3 – 10 мг/л; 4 – 5 мг/л;  
 5 – 2 мг/л; 6 – 1 мг/л  
 а – дистиллированная вода  
 б – водопроводная вода

Рисунок 8 – Спектры поглощения салициловой кислоты в дистиллированной и водопроводной воде

На спектрах в дистиллированной воде четко видны К, Е и В – полосы поглощения, их интенсивность определяется высотой пика. Видно, что К-полоса поглощения находится на длине волны 201 нм, Е-полоса – на длине волны 232 нм, В-полоса на длине волны 298 нм. В водопроводной воде идентифицируются только В-полосы. На рисунке 9 показаны спектры поглощения салициловой кислоты, соответствующие В-полосам в увеличенном масштабе.



1 – 10 мг/л; 2 – 5 мг/л; 3 – 2 мг/л; 4 – 1 мг/л  
 а – дистиллированная вода  
 б – водопроводная вода

Рисунок 9 – В-полосы поглощения салициловой кислоты в дистиллированной и водопроводной воде

**Заключение.** В результате анализа спектров ароматических соединений в дистиллированной и водопроводной воде можно сделать вывод, что данные соединения уверенно идентифицируются в обоих случаях с помощью спектрофотометра СФ-2000 до концентраций порядка 1...5 мг/л. Их В-полосы поглощения лежат в пределах от 250 до 310 нм. При совместном присутствии данных соединений в исследуемой воде В-полосы поглощения могут накладываться, при этом интенсивность поглощения в диапазоне длин волн от 250 до 350 нм будет увеличиваться, поэтому предварительно можно сделать вывод, что с помощью исследования спектров поглощения в УФ-области можно судить о наличии и интегральной концентрации ароматических и гетероциклических соединений в природной и сточной воде. Необходимо продолжить исследования в данном направлении с целью увеличения чувствительности метода для возможности обнаружения более низких концентраций данных веществ. Этого можно достигнуть, используя методы экстракции и используя кварцевые кюветы с большей длиной оптического пути.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Берштейн, И.Я. Спектрометрический анализ в органической химии / И.Я. Берштейн, Ю.Л. Каминский. – Л.: Химия, 1986. – 199 с.

УДК 691(075)

*Казак Е.М., Каменец Ю.В.*

*Научный руководитель: доцент Левчук Н.В.*

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОГО СОСТАВА С ДОБАВЛЕНИЕМ ПАВ

Бетон при всем многообразии его применения является, прежде всего, материалом для несущих конструкций. Основным требованием, предъявляемым к такому материалу, является его прочность, т.е. способность сопротивляться действию напряжений, возникающих в конструкции или в процессе монтажа и эксплуатации. Бетон относится к группе хрупких материалов, которые значительно лучше сопротивляются сжатию, чем растяжению. Поэтому его используют в таких конструкциях или их элементах, которые работают преимущественно на сжатие. Естественно, что основной характеристикой качества бетона должна быть его прочность при сжатии [2].

При изготовлении цементно-песчаных растворов и бетонов для улучшения их физико-механических, реологических и антикоррозионных свойств, а также по технико-экономическим показателям в настоящее время специалисты рекомендуют использовать различные добавки в бетон.

В частности, при изготовлении тяжелых бетонов и при их заливке в густоармированные опалубки важно иметь качественный цементно-песчаный раствор. При приготовлении цементно-песчаных растворов возникает необходимость увеличить их текучесть без потери прочности и усилить адгезию (способность прилипать). В противном случае в бетоне останутся раковины и пустоты, значительно снижающие прочность изделия. Поэтому в этих случаях рекомендуется использовать пластифицирующие добавки. Применение пластификаторов обеспечивает либо повышенную подвижность (текучесть) бетонной смеси при неизменном количестве цемента и воды, либо обещает некоторую

экономия цемента при сохранении исходной подвижности и прочностных характеристик, из-за лучшей смачиваемости наполнителя бетона раствором.

Добавки – вещества, вводимые в бетонную смесь либо непосредственно перед перемешиванием, либо во время перемешивания. Они регулируют сроки схватывания цемента, улучшают удобоукладываемость бетонной смеси, воздействуют на процессы её твердения, повышают прочность бетона, его морозо- и сульфатостойкость.

Вводимые в незначительных количествах добавки оказывают влияние на параметры кристаллизации, на морфологию новообразований (внешний вид фаз, их форму, размер, удельную поверхность) изменяя структуру материала за счет микро-воздухо(газо)вовлечения, природу поверхности затвердевшего камня, тем самым, определяют важнейшие свойства цементного камня и бетона (прочность, пористость и др.) (1).

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – химические или полимерные добавки, рекомендуемые для повышения активности сцепления вяжущего вещества с поверхностью каменного материала. Молекулы ПАВ обладают амфотерными свойствами и состоят из двух групп – полярной и неполярной. Полярная – активная часть обращена к каменному материалу, а неполярная – это цементно-песчаные растворы, что обуславливает поверхностную (адсорбционную) активность ПАВ, их способность концентрироваться на межфазных поверхностях раздела (адсорбирования), изменяя свойства этих поверхностей.

В настоящее время поверхностно активные вещества нашли широкое применение в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, быту. Применение ПАВ определяется их поверхностной активностью и объемными свойствами растворов. ПАВ обеих групп (истинно растворимые и коллоидные) используют в качестве диспергаторов при измельчении твердых тел, бурении твердых пород (понижители твердости), для улучшения смазочного действия, понижения трения и износа, интенсивности нефтеотдачи пластов и т.д. Другой важный аспект использования ПАВ – формирование и разрушение пен, эмульсий, микроэмульсий. Широкое применение ПАВ находят для регулирования структурообразования и устойчивости дисперсных систем с жидкой дисперсионной средой.

К ПАВ относят пенообразователи, которые используют службы МЧС для тушения пожаров. С течением времени пенообразователи теряют свои функциональные свойства, т. е. при долгосрочном хранении не соблюдается кратность пенообразования, которая необходима для соблюдения нормативов ГОСТ Р 50588. В результате, пенообразователи накапливаются в местах их хранения (промышленные предприятия, склады МЧС и др.), а затем сбрасываются в бытовую канализационную сеть, что в конечном итоге приводит к загрязнению водного бассейна. Одна из отличительных особенностей воздействия пенообразователей на окружающую среду состоит в том, что они способны усиливать воздействия других загрязняющих веществ [4]. Возникает и экологическая проблема, связанная с накоплением ПАВ. Кроме того, службами МЧС используются небiorазлагаемые пенообразователи, сброс которых в канализационную сеть запрещен.

Одним из способов решения этой проблемы является возможность использования пенообразователей в качестве пластифицирующих добавок для самовыравнивающих бетонов. Поэтому целью нашей работы является исследование физико-механических показателей цементно-песчаных растворов и бетонов с применением пенообразователей «Барьер – 615» и «Сантек» как пластифицирующих добавок.

Теоретические исследования показали, что применение пластифицирующих добавок позволяет:

- увеличить подвижность бетонной смеси от П1 до П5 без снижения прочности и долговечности бетона (при неизменном содержании воды и цемента);
- увеличить прочностные характеристики бетона на 20% и более (за счет сокращения расхода воды при неизменном расходе цемента и подвижности бетонной смеси);
- получить бетоны с высокими водонепроницаемостью (W8 и более), морозостойкостью (F300 и более) и коррозионной стойкостью;
- снизить расход цемента в равноподвижных смесях на 15-20%;
- сократить время и энергетические затраты на тепло-влажностную обработку бетона;
- значительно сократить время и энергетические затраты на вибрирование бетонной смеси, а в ряде случаев и полностью отказаться от вибрирования.

К пенообразователям предъявляют следующие требования:

- рабочая концентрация пенообразователя;
- кратность получаемой пены;
- стойкость пены во времени;
- коэффициент использования пены в пенобетоне;
- стойкость пенобетона во времени;
- сроки схватывания и динамика гидратации цемента в присутствии пенообразователя;
- конечная прочность бетона;
- пластифицирующий эффект пенообразователя.

Так, для производства пенобетонов наиболее важны следующие параметры пены:

- 1) кратность – отношение первоначального объема пены к объему раствора пенообразователя, затраченного на её получение;
- 2) стабильность – время распада единицы объема пены за единицу времени;
- 3) дисперсность – величина, характеризующая средний размер пузырьков и их распределение по объему пены;
- 4) плотность – соотношение жидкой и газовой фаз;
- 5) структурно-механические свойства – способность определенное время сохранять первоначальную форму;
- 6) несущая способность – способность пузырьков пены без разрушения удерживать на своей поверхности определенное количество иных веществ;
- 7) влияние на изменение пластической вязкости ячеистобетонной композиции;
- 8) гидрофобизация или гидрофолизация внутреннего порового пространства ячеистого бетона;
- 9) влияние компонентов пенообразователя на гидратацию цемента;
- 10) совместимость пены с другими компонентами, применяемыми для изготовления пенобетона.

Расчет и подбор составов бетонов проводился по стандартной методике [3], позволяющей учитывать значение водоцементного отношения в растворе. Для изучения физико-механических свойств цементно-песчаных растворов с добавкой пенообразователя в лабораторных условиях были приготовлены серии образцов (бетонные балочки). Соотношение воды и пенообразователя в растворе затворения для первой серии образцов – 2:1, для второй серии образцов – 4:1. Контрольный образец затворен без добавки пенообразователя.

Предварительные результаты исследований показали, что

- через 14 суток у исследуемых образцов, концентрация пенообразователя которых составляет 2:1, прочность при сжатии была меньше, чем у контрольных образцов. А у

образцов, концентрация пенообразователя которых составляет 4:1, прочность при сжатии приближался к контрольным образцам;

- используемое соотношение пенообразователя и воды в растворе затворения не обеспечивает необходимую прочность образцов и требует перерасчета состава цементно-песчаного раствора;

- увеличилась подвижность бетонной смеси;

- прочностные характеристики в серии образцов с концентрацией пенообразователя в растворе затворения 2:1 снижаются на 15% относительно контрольного образца. При снижении концентрации пенообразователя в растворе затворения до соотношения 4:1 наблюдали увеличение прочности, которая на 5% ниже контрольного образца;

- использование пенообразователей позволяет снизить водоцементное соотношение.

Так как прочность бетонов и растворов зависит от водоцементного отношения, то для получения заданной прочности можно, снижая количество раствора затворения, уменьшить дозировку цемента, что способствует решению общей задачи рационального и экономного использования материальных ресурсов в строительстве.

Использование пенообразователей в производстве строительных материалов позволяет снизить риск загрязнения водных объектов ПАВ.

В настоящее время мы продолжаем изучение свойств цементно-песчаных растворов с использованием пенообразователей.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – Москва: Стройиздат, 1998. – 768 с.
2. Горчаков, Г.И. Состав, структура и свойства цементных бетонов / Г.И. Горчаков, Л.П. Орентихер. – Москва: Стройиздат, 1976. – 145 с.
3. Вернигорова, В.Н. Современные методы исследования строительных материалов / В.Н. Вернигорова, Н.И. Макридин, Ю.А. Соколова. – Москва: Издательство АСВ, 2003. – 240 с.
4. [www.ecologu.ru](http://www.ecologu.ru)

УДК [551.82:556.53(476.7)]0.63

*Корнец Г.В.*

*Научный руководитель: профессор Волчек А.А., Волчек Ан.А.*

### АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОГРАФОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК БЕЛУРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

#### Введение

Изучение закономерностей формирования и развития природных процессов с целью их прогнозирования и управления являются основной задачей современной науки. Управление водными ресурсами является одной из важнейших практических задач в водном хозяйстве, решение которой возможно лишь на основе познания закономерностей формирования водного режима территории. Весеннее половодье – характерная фаза естественного водного режима рек Беларуси. Половодья сопровождаются разливами рек, которые в многоводные годы при максимальных подъемах уровней воды приобретают характер катастрофических явлений (наводнения), что приводит к затоплению населенных пунктов, сельскохозяйственных земель, разрушению мостов, дорог и т.д.

Белорусское Полесье – это уникальная территория, наиболее подверженная затоплению в период весеннего половодья, в связи с чем анализ гидрографов рек данной ме-

стности представляет большой интерес. Реки Белорусского Полесья относятся к восточноевропейскому типу, который характеризуется высоким весенним половодьем, летней меженью, прерываемой эпизодически ливнями, низкой зимней меженью и повышенным осенним стоком. Некоторые реки этого типа имеют два максимума: первый (главный) – весной и второй – осенью. На распределение стока в первую очередь влияют климатические факторы – осадки и температура воздуха. Несмотря на значительные колебания этих факторов в различные годы, они характеризуют общий тип годового распределения и форму гидрографа стока. На распределение стока влияют также размер бассейна, его рельеф, геологическое строение, водоносные горизонты, наличие лесов, болот и озер, а также природно-климатические изменения. Климатические факторы определяют общий характер распределения стока в том или другом географическом районе, а физико-географические факторы могут в значительной мере изменить внутригодовое распределение стока, свойственное данному району.

Целью работы является выявление трансформации формы гидрографов весеннего половодья рек Белорусского Полесья.

### Исходные материалы и методы исследований

Исходными данными послужили материалы многолетних наблюдений Республиканского Гидрометцентра за ежедневными расходами воды 11 рек Белорусского Полесья за период с 1968 по 2005 гг.

Анализ исходной информации осуществлялся с помощью графических методов, а также визуального сравнения.

Расчет гидрографов весеннего половодья выполнялся следующими методами [1]:

а) переходом от гидрографа-модели к расчетному гидрографу путем умножения ординат гидрографа-модели на коэффициенты, определяемые по формулам:

$$k_1 = \frac{Q_{P\%}}{Q_M}; \quad (1)$$

$$k_2 = \frac{V_{P\%} - Q_{P\%} \cdot 86400}{V_M - Q_M \cdot 86400}; \quad (2)$$

$$k_3 = \frac{V'_{P\%} - V_{P\%}}{V'_M - V_M}, \quad (3)$$

где  $Q_{P\%}$  и  $Q_M$  – максимальный среднесуточный расход воды весеннего половодья соответственно для расчетного гидрографа и гидрографа-модели, м<sup>3</sup>/с;

$V_{P\%}$  и  $V_M$  – объем основной волны соответственно для расчетного гидрографа и гидрографа-модели, м<sup>3</sup>;

$V'_{P\%}$  и  $V'_M$  – полный объем весеннего половодья соответственно для расчетного гидрографа и гидрографа-модели, м<sup>3</sup>;

б) переходом от гидрографа-модели к расчетному гидрографу с применением коэффициента  $k_1$ , определяемого по формуле (1), и коэффициента  $k_2$ , определяемого по формуле:

$$k_2 = \frac{q_M}{h_M} \cdot \frac{h_{P\%}}{q_{P\%}}, \quad (4)$$

где  $q_{P\%}$ ,  $q_M$  – модуль максимального среднесуточного расхода воды соответственно для расчетного гидрографа и гидрографа-модели, м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup>;

$h_{P\%}$ ,  $h_M$  – слой стока весеннего половодья соответственно для расчетного гидрографа и гидрографа-модели, мм.

Переход от гидрографа-модели к расчетному гидрографу по методу, указанному в подпункте «б», возможен только при соблюдении условий:

$$\gamma_{P\%} = \gamma_M; \quad k_{s,P\%} = k_{s,M},$$

где  $\gamma_{P\%}$  и  $\gamma_M$  – коэффициент полноты  $\gamma$  соответственно для расчетного гидрографа и гидрографа-модели, определяемый по формуле:

$$\gamma = \frac{q \cdot t}{0,0116 \cdot h}; \quad (5)$$

$k_{s,P\%}$  и  $k_{s,M}$  – коэффициент несимметричности соответственно для расчетного гидрографа и гидрографа-модели, определяемый по формуле:

$$k_s = \frac{h_{\Pi}}{h}, \quad (6)$$

где  $q$  – модуль максимального среднего суточного расхода воды, м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup>;

$h$  – слой стока весеннего половодья, мм;  $t$  – продолжительность весеннего половодья, сут.;  $h_{\Pi}$  – слой стока за период подъема весеннего половодья, мм.

Координаты расчетного гидрографа определяются в зависимости от коэффициентов  $k_1$  и  $k_i$  по формулам:

$$Q_i = Q_{i,M} \cdot k_i; \quad (7)$$

$$t_i = t_{i,M} \cdot k_i, \quad (8)$$

где  $Q_i$  и  $Q_{i,M}$  – расходы воды в  $i$ -тую единицу расчетного времени соответственно для расчетного гидрографа и гидрографа-модели;

$t_i$  и  $t_{i,M}$  – ордината времени соответственно для расчетного гидрографа и гидрографа-модели.

За начало отсчета времени  $t_{i,M}$  принимается начало подъема весеннего половодья.

### Обсуждение результатов исследований

При изучении режима рек за длительный период с 1968 по 2005 гг. были построены гидрографы для каждого исследуемого года по 11 рекам Белорусского Полесья. За весь период наблюдения форма гидрографов менялась так, как и объемы весеннего половодья. В таблице 1 приведена классификация гидрографов исследуемых рек.

Как видно из таблицы 1, преобладают невыраженные гидрографы (71%), наибольшее число невыраженных гидрографов наблюдалось на р. Лань – с. Мокрово (74%), р. Припять – г. Черничи (77%) и р. Ясельда – с. Сенин (75%), что связано с созданием водохранилищ, которые и срезают пики половодья.

Таблица 1 – Классификации гидрографов весеннего половодья рек Белорусского Полесья за период с 1968 по 2005 гг.

№ п/п	Река – створ	одновершинные	двухвершинные	невыраженные
		%		
1	р. Горынь – Речица	42	16	42
2	р. Лань – Мокрово	20	6	74
3	р. Оресса – Андреевка	16	21	63
4	р. Припять – Мозырь	40	14	46
5	р. Припять – Черничи	14	9	77

Продолжение табл. 1

6	р. Птичь – Дараганово	26	5	69
7	р. Случь – Клепчаны	42	23	35
8	р. Случь – Ленин	39	11	50
9	р. Цна – Дятловичи	36	8	56
10	р. Ясельда – Береза	24	18	58
11	р. Ясельда – Сенин	14	11	75
итого по всем рекам:		19	9	71

На рисунке 1 приведена динамика изменения формы гидрографов рек Белорусского Полесья за период с 1968 по 2005 гг.

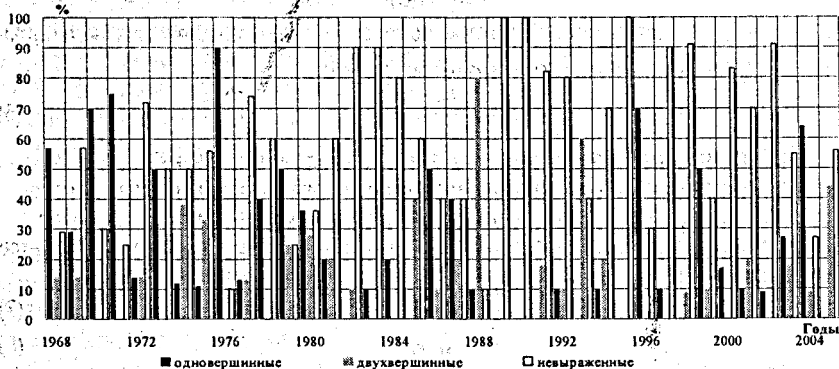


Рисунок 1 – Классификации гидрографов весеннего половодья рек Белорусского Полесья за период с 1968 по 2005 гг.

Как видно на рисунке 1, наибольшее количество двухвершинных гидрографов наблюдалось в 1988 г. (80 %), немного меньше в 1993 г. (60 %), из 38 лет наблюдений 14 лет не наблюдались двухвершинные гидрографы, а 16 лет встречались не более чем на 20 % исследуемых створах.

Количество одновершинных гидрографов уменьшилось с начала 80-х гг. прошлого столетия, однако наблюдались годы с большим количеством классических одновершинных гидрографов: так, например, в 1986 г. их было 50 %, в 1987 г. – 40 %, в 1996 г. – 70 %, в 1999 г. – 50 %, в 2004 г. – 64 %. До 1981 г. наблюдалась обратная картина, когда в основном преобладали одновершинные гидрографы, например, в 1970 г. их было 91 %, в 2002 г. – 91 %.

Количество невыраженных гидрографов увеличивается и порой достигает 90 % и более: 1997 г. – 90 %, 1998 г. – 91 %, 2002 г. – 91 %.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что произошла трансформация формы гидрографа рек Белорусского Полесья, что связано как с природно-климатическими изменениями, так и с активной хозяйственной деятельностью в бассейне реки Припять.

Для количественных оценок изменения формы гидрографа весеннего половодья за отдельные годы строились модели гидрографов по схеме Г.А. Алексеева [1], которые определяются двумя параметрами: коэффициентом несимметричности ( $K_s$ ) и коэффициентом формы гидрографа ( $\lambda$ ) (таблица 2). Исходный ряд был разбит на два периода: 1968 – 1980 гг. и 1981 – 2005 гг., для которых определялись средние значения коэффи-



циентов. Статистически значимые различия в средних коэффициентов формы гидрографа определяли с помощью критерия Стьюдента. Результаты моделирования приведены в таблице 2.

Таблица 2 Параметры гидрографов весеннего половодья

Река-створ	Средние значения $K_s$ за период			Средние значения $\lambda$ за период		
	1968-1980	1981-2005	1968-2005	1968-1980	1981-2005	1968-2005
Горынь – г. Речица	<b>0,392</b>	<b>0,297</b>	0,331	<b>1,623</b>	<b>0,830</b>	1,117
Лань – с. Мокрово	0,355	0,319	0,326	1,417	1,192	1,237
Оресса – с. Андреевка	0,344	0,310	0,322	1,185	0,964	1,039
Припять – г. Мозырь	0,284	0,276	0,279	0,638	0,663	0,654
Припять – с. Черничи	0,190	0,266	0,262	0,300	0,719	0,700
Птичь – с. Дараганово	0,277	0,270	0,272	0,600	0,550	0,562
Случь – с. Клепчаны	<b>0,431</b>	<b>0,392</b>	0,401	<b>2,357</b>	<b>1,950</b>	2,042
Случь – с. Ленин	<b>0,376</b>	<b>0,320</b>	0,339	<b>1,275</b>	<b>0,950</b>	1,058
Цна – с. Дятловичи	<b>0,339</b>	<b>0,292</b>	0,309	1,000	0,809	0,878
Ясельда – г. Береза	0,352	0,329	0,337	1,177	1,228	1,211
Ясельда – г. Сенин	0,275	0,266	0,269	0,869	0,713	0,769

Примечание: выделены статистически различимые значения [3].

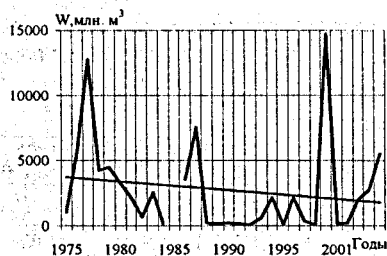
Статистически значимые различия в средних значениях  $K_s$  наблюдаются для р. Горынь – г. Речица, р. Случь – с. Клепчаны, р. Случь – с. Ленин и р. Цна – с. Дятловичи, а для коэффициента формы гидрографа  $\lambda$  различия в средних статистически значимы для р. Горынь – г. Речица, р. Случь – с. Клепчаны, р. Случь – с. Ленин. Это обусловлено климатическими факторами, т.к. основной сток р. Горынь формируется за пределами территории Беларуси, а изменения формы гидрографа рр. Цна и Случь вероятнее всего вызваны мелиорированностью водосбора.

Помимо формы гидрографа, значительный интерес представляет изменение объема весеннего половодья, т.к. в этот период часть стока аккумулируется для целей водоснабжения. Анализ изменения объемов весеннего половодья произведен на примере рек Ивацевичского района (р. Лань – Мокрово, р. Случь – Ленин, р. Случь – Клепчаны, р. Цна – Дятловичи). На рисунке 2 представлена динамика изменения объемов весеннего половодья некоторых рек Белорусского Полесья.

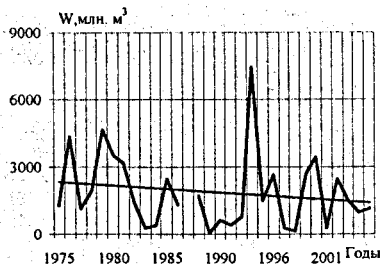
Как видно на рисунке 2, произошло уменьшение объемов воды весеннего половодья, о чем свидетельствуют линии тренда. Изменение объемов весеннего половодья на исследуемых реках вызвано многими факторами, а в частности тем, что в бассейне р. Припять много искусственных водоемов. Особенно увеличилось их число в связи с проведенными на водосборе крупномасштабными мелиоративными работами и необходимостью регулирования стока для целей сельского хозяйства и развивающейся индустрии. В частности, на объем весеннего половодья реки Лань оказало влияние водохранилище Лактыши (объем воды 50,2 млн.м<sup>3</sup>, средний многолетний сток 118 млн.м<sup>3</sup>), созданное в 1977 г. для двухстороннего регулирования влажности мелиорированных сельскохозяйственных земель водоснабжения рыбного хозяйства «Лактыши».

На реке Случь расположено Солигорское водохранилище (объем воды 55,9 млн. м<sup>3</sup>, средний многолетний сток 288 млн.м<sup>3</sup>), созданное в 1967 г. Цнянское водохранилище (объем воды 2,1 млн. м<sup>3</sup>) создано в 1981 г [2].

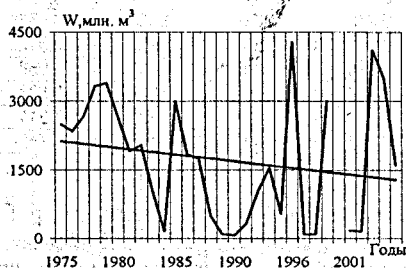
**Выводы.** В результате проведенных исследований была выявлена трансформация формы гидрографов, а также объемов воды весеннего половодья, что вызвано как природно-климатическими, так и антропогенными современными факторами.



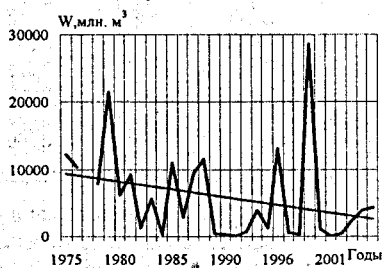
р. Плянь – Мокровое



Случь – Клепчаны



р. Цна – Дятловичи



Случь – Ленин

Рисунок 2 – Динамика изменения объемов весеннего половодья рек Белорусского Полесья

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пособие к строительным нормам и правилам. П1-98 к СНиП 2.01.14-83 Определение расчетных гидрологических характеристик. Пособие к СНиП 2.01.14-83. – Мн.: РУП «Минсктиппроект», 2000. – 174 с.
2. Блакітная кніга Беларусі. – Мн.: БелЭн, 1994.
3. Статистические методы в природопользовании: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В.Е. Валуев, А.А. Волчек, П.С. Пойта, П.В. Шведовский. – Брест: Изд-во Брестского политехнического института, 1999. – 252 с.

УДК 628.316

Любчук Ю.Е.

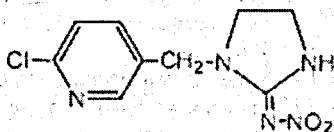
Научный руководитель: к.т.н. доцент Житенев Б.Н.

#### ЖИДКОФАЗНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ПЕСТИЦИДОВ. НА ПРИМЕРЕ ВОДНОГО РАСТВОРА ИМИДАКЛОПРИДА

Имидаклоприд – системный инсектицид нового поколения, принадлежащий к химическому классу неоникотиноидов, хлорникотиновое соединение.

Брутто формула:  $C_9H_{10}ClN_5O_2$

Структурная формула:



Физико-химические свойства:

- Растворимость в воде при 20°C – 610 мг/л (высокая)
- Период полураспада в почве, по данным лабораторных исследований Евросоюза составляет 77-341 дней (устойчивый)

• Водный фотоллиз при pH 7 – 0,2 дня (стойкий)

• Водный гидролиз при 20°C и pH 7 – Стабильный (очень устойчивый)

Трудно окисляемое органическое вещество.

Токсиколого-гигиеническая характеристика:

- канцерогенность,
- эндокринные заболевания,
- репродуктивная токсичность, тератогенный эффект,
- ингибирование ацетилхолинэстеразы,
- нейротоксичность, раздражение кожи, глаз, дыхательных путей.

Классификация ВОЗ – II класс опасности (средне-опасный).

Нормативы по содержанию имидаклоприда в объектах окружающей среды:

- допустимая суточная доза – 0,06 мг/кг;
- ориентировочное допустимое количество в почве – 0,1 мг/кг;
- предельно допустимая концентрация в воде – 0,03 мг/дм<sup>3</sup>;
- ориентировочные безопасные уровни воздействия в атмосферном воздухе населенных мест – 0,02 мг/м<sup>3</sup>.

Определяется спектрофотометрическим методом в ультрафиолетовом диапазоне на длине волны 270 нм (Рис.1).

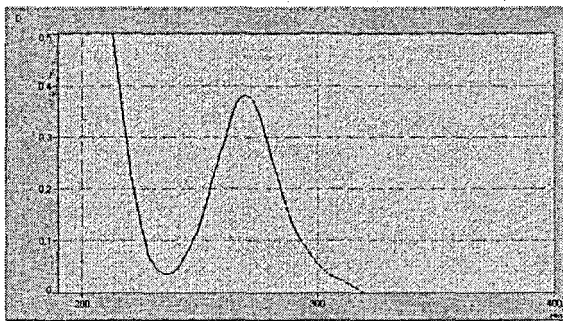
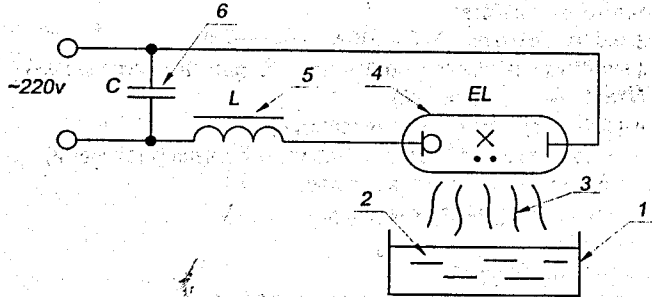


Рисунок 1 – Спектрограмма раствора с концентрацией 5мг/л имидаклоприда

Имидаклоприд трудно окисляется даже такими окислителями как озон, поэтому для сокращения дозы озона необходимо было найти другие более эффективные методы очистки на первом этапе. Одним из таких методов является фото-деструкция под действием ультрафиолетового излучения.

Для облучения раствора имидаклоприда использовалась кварцевая горелка ртутно-аргоновой лампы высокого давления ДРЛ-250. Схема экспериментальной установки представлена на рис.2

Для эксперимента был использован раствор с концентрацией 20мг/л имидаклоприда. 50 мл раствора обрабатывали в течение более 1 минуты, с взятием проб через каждые 10 секунд. Спектрограммы сняты на спектрофотометре СФ-2000 (Рис.3).



1 – Чашка Петри; 2 – Раствор имидаклоприда; 3 – ультрафиолетовое излучение;  
 4 – кварцевая горелка ДРЛ-250; 5 – дроссель; 6 – конденсатор.  
 Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

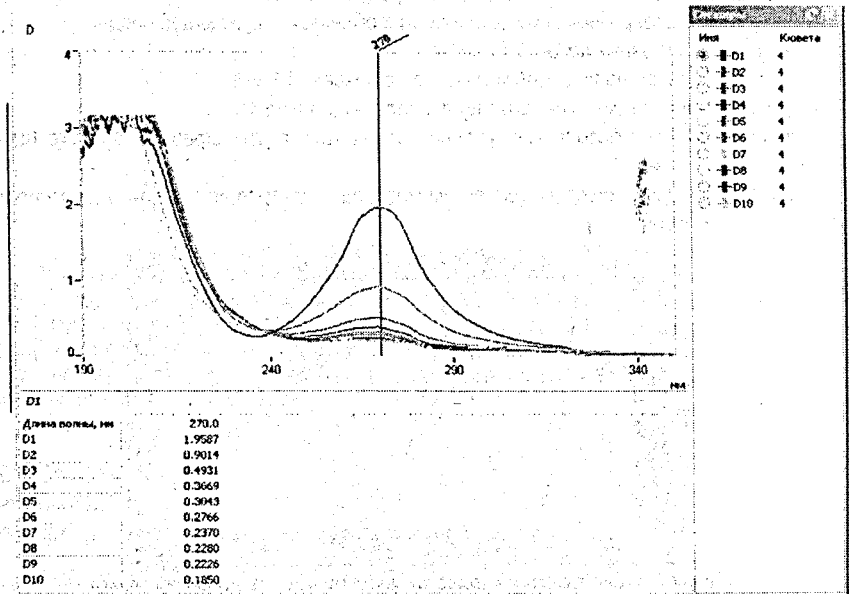


Рисунок 3 – Спектрограммы раствора имидаклоприда при обработке ультрафиолетовым излучением

По данным спектрограмм строим график снижения оптической плотности по времени (Рис.4).

По данным спектрограмм видно, что наиболее резкое снижение концентрации идет в течение первых 20 секунд, это можно объяснить тем, что при больших концентрациях есть большая вероятность попадания квантов в молекулы исходного вещества. Слева на спектрограммах (см. Рис.3) одновременно со снижением пика на длине волны 270 нм, характерного для имидаклоприда, идет рост пиков в дальнем ультрафиолете продуктов распада исходного вещества. Химизм фотолиза водного раствора имидаклоприда представлен на Рис.5.



## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ ВОДЫ

При создании внутри объема жидкости специально сформированного импульсного высоковольтного разряда в зоне последнего развиваются сверхвысокие давления, которые можно широко использовать в практических целях. Так, впервые в 1950 г. Львом Александровичем Юткиным был сформулирован предложенный им новый способ трансформации электрической энергии в механическую, названный им электрогидравлическим эффектом (ЭГЭ).

Существование электрогидравлического эффекта связано с относительно медленным накоплением энергии в источнике питания и практически мгновенным ее выделением в жидкой среде. Основными факторами, определяющими возникновение электрогидравлического эффекта, являются: амплитуда, крутизна фронта, форма и длительность электрического импульса. Длительность импульса тока при ЭГЭ измеряется в микросекундах, поэтому, мгновенная мощность импульса тока может достигать сотен тысяч киловатт. Крутизна фронта импульса тока определяет скорость расширения канала разряда. При подаче напряжения на разрядные электроды в несколько десятков киловольт амплитуда тока в импульсе достигает десятков тысяч ампер.

С момента образования стримера в жидкости между электродами возникает кавитационная полость, рост которой продолжается с ростом диаметра канала разряда при переходе его в искровую форму с наступлением собственно пробоя (после того как стример замкнет оба электрода). Резкое повышение температуры канала (до 40000 °С) вызывает появление дополнительного количества продуктов разложения самой жидкости и находящихся в ней веществ в оболочке канала, что и определяет еще более резкий скачок давления. Огромное сопротивление процессу расширения со стороны окружающей канал жидкости способствует еще более резкому нарастанию давлений в оболочке канала, в силу чего явление приобретает характер взрыва.

При образовании кавитационной полости (в начальный период ее расширения) от ее границ отрывается и уходит в жидкость ударная волна. По мере ее движения энергия, которую она несет, перекачивается на задний фронт волны. Когда граница кавитационной полости останавливается в своем движении и полость захлопывается, энергия сжатой жидкости постепенно переходит на передний фронт обратной волны, т.е. на границу полости. В окружающей разряд жидкости образуется кавитационное кольцо – сотни тысяч пузырьков обычных кавитаций.

В воде, где практически существуют два вида ионов  $H^+$  и  $OH^-$ , основная, определяющая весь процесс разряда, роль принадлежит иону  $OH^-$ . Электроны, срывающиеся с ионов  $OH^-$  и вливающиеся затем в канал стримера, определяют не только само его существование, но и его длину, следовательно, чем их будет больше, тем дальше прорастет стример и длиннее будет разряд, меньше потери на электропроводность и выше механический КПД разряда. В то же время ион  $H^+$  не принимает участия в росте стримеров и, с моей точки зрения, бесполезен для всего процесса разряда.

Таким образом, задача состояла в том, чтобы создать условия, при которых затруднилось образование новых ионов  $H^+$  и облегчалось образование новых ионов  $OH^-$  с од-

новременным обеспечением их преимущественной разрядки не на электрод, а на растущий стример.

Решить эту задачу Л.А. Юткину удалось, изменив форму электродов. При резком уменьшении активной, соприкасающейся с водой поверхности анода (путем максимальной его изоляции по всей длине, кроме переднего конца) и одновременно резком увеличении активной поверхности катода. В воде между электродами возникает значительная асимметрия электромагнитного поля и, как следствие этого, особая ионная атмосфера, способствующая интенсивному прорастанию стримера в жидкости. Реакция жидкости в этом объеме становится щелочной.

Основными действующими факторами электрогидравлического эффекта являются:

- высокие и сверхвысокие импульсные гидравлические давления, приводящие к появлению ударных волн со звуковой и сверхзвуковой скоростями;
- значительные импульсные перемещения объемов жидкости, совершающиеся со скоростями, достигающими сотен метров в секунду;
- мощные импульсно возникающие кавитационные процессы, способные охватить большие объемы жидкости;
- инфра- и ультразвуковые излучения;
- механические резонансные явления с амплитудами, позволяющими осуществлять взаимное отслаивание друг от друга многокомпонентных твердых тел;
- мощные электромагнитные поля;
- интенсивные импульсные световые, тепловые, ультрафиолетовые, а также рентген – излучения;
- многократная ионизация соединений и элементов, содержащихся в жидкости.

Все эти факторы позволяют оказывать на жидкость и объекты, помещенные в нее, весьма разнообразные физические и химические воздействия. Так, ударные перемещения в жидкости, возникающие при развитии и схлопывании кавитационных полостей, способны разрушать неметаллические материалы и вызывать пластические деформации металлических объектов, помещенных вблизи зоны разряда. Мощные инфра- и ультразвуковые колебания, сопровождающие электрогидравлический эффект, дополнительно диспергируют уже измельченные материалы, вызывают резонансные разрушения крупных объектов на отдельные кристаллические частицы, осуществляют интенсивные химические процессы синтеза, полимеризации, обрыва сорбционных и химических связей. Электромагнитные поля разряда также оказывают мощное влияние как на сам разряд, так и на ионные процессы, протекающие в окружающей его жидкости. Под их влиянием могут происходить разнообразные физические и химические изменения в обрабатываемом материале.

Для создания электрогидравлических ударов Л.А. Юткиным была предложена схема, включающая: трансформатор, конденсатор, формирующий промежуток, разрядные электроды в жидкости.

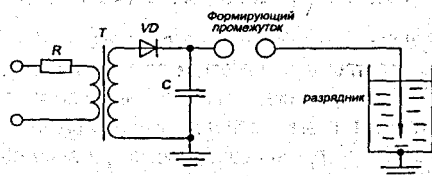


Рисунок 1 – Электрическая схема для воспроизведения ЭГЭ

Напряжение на конденсаторе повышается до значения, при котором происходит самопроизвольный пробой воздушного формирующего промежутка, и вся энергия, запасенная в конденсаторе, мгновенно поступает на рабочий промежуток в жидкости, где и выделяется в виде короткого электрического импульса большой мощности. Далее процесс при заданной емкости и напряжении повторяется с частотой, зависящей от мощности питающего трансформатора.

Опытным путем была установлена возможность широкого варьирования параметрами принципиальной электрической схемы. Это дало основание ввести понятие «режим работы» силовой установки, подразумевая под этим значения основных параметров схемы: емкости и напряжения. Были определены три основных режима:

- 1) жесткий –  $U \geq 50$  кВ;  $C \leq 0,1$  мкФ;
- 2) средний –  $20$  кВ  $\leq U \leq 50$  кВ;  $0,1$  мкФ  $\leq C \leq 1$  мкФ;
- 3) мягкий –  $U \leq 20$  кВ;  $C \geq 1$  мкФ.

В практических целях для систем водоснабжения и водоотведения широко применяются промышленные установки серии «Зевс» использующие механическую составляющую электрогидравлического удара (рис.2).

Область применения:

- прочистка труб от отложений и накипи любой прочности, при которой не повреждается очищаемое оборудование;
- возможность очистки гнутых и спиралевидных труб;
- очистка котлов, теплообменных аппаратов;
- очистка участков трубопроводов;
- очистка стояков канализации;
- устранение кольматажа фильтров и прифильтровых зон артезианских скважин.

Следует отметить высокий КПД установок, основанных на принципе «эффекта Юткина». Потребляемая мощность самых мощных из них не превышает 4,5 кВт, напряжение питания – 220 В.

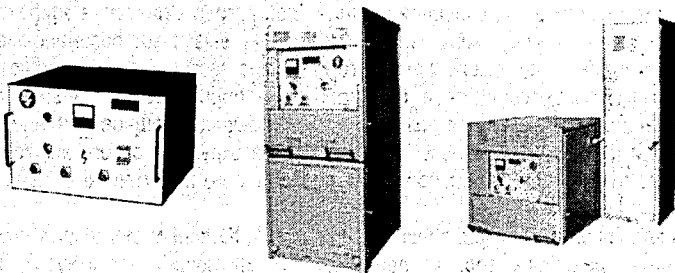


Рисунок 2 – Промышленные установки «Зевс»

В лаборатории кафедры ВВиОВР была создана экспериментальная установка, позволяющая воссоздать электрогидравлический эффект на мягких и средних режимах ( $C = 0,25$  мкФ;  $U = 27$  кВ). Электрическая принципиальная схема приведена на рис.3.

Целью создания этой установки является использование электрогидравлического эффекта для жидкофазной деструкции содержащихся в воде стойких органических загрязнителей.



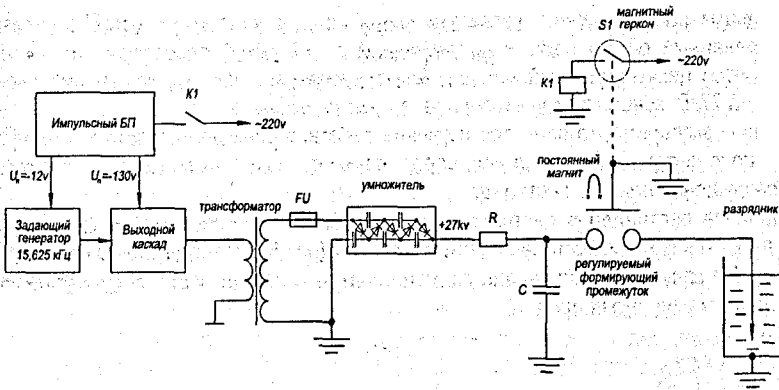
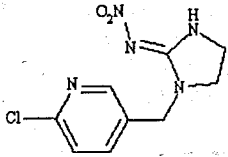
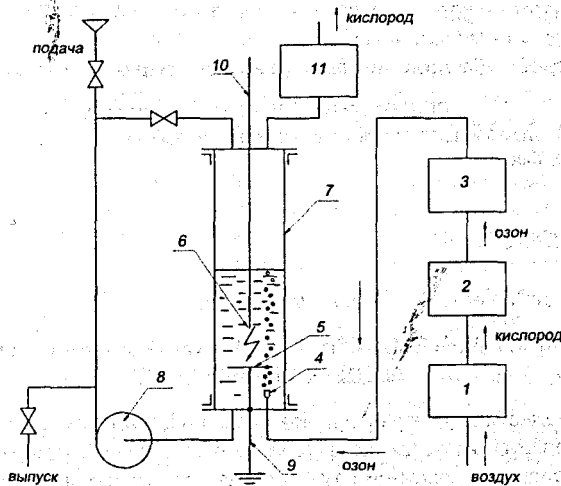


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная лабораторной установки для создания электрогидравлического эффекта



Для эксперимента был взят пестицид неоникотинового ряда – имidakлоприд. Брутто формула:  $C_9H_{10}ClN_5O_2$ .

В качестве окислителя использовали озон. Имidakлоприд – трудноокисляемое органическое вещество. Определяется спектрографическим методом в ультрафиолетовом диапазоне на длине волны 270 нм. Спектрограммы сняты на спектрофотометре СФ-2000 (рис.5).  
Схема экспериментальной установки показана на рис.4.



1 – концентратор кислорода; 2 – озонатор; 3 – озонмер; 4 – диспергатор; 5 – катод; 6 – анод; 7 – контактная колонка; 8 – циркуляционный насос; 9 – заземляющий провод; 10 – высоковольтный провод; 11 – деструктор озона

Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки

Принцип работы данной установки следующий: в контактную колонку заливается фиксированный объем воды с растворенной в ней дозой определенного пестицида. Включается циркуляционный насос и электроустановка, формирующая импульсы амплитудой 27кВ, концентратор кислорода, озонатор, озонмер.

Целью эксперимента является изучение действия электрогидравлического эффекта на процесс деструкции пестицидов, определение доз окислителя (озона), необходимого для разрушения данного пестицида.

Наличие пестицида в растворе после обработки на экспериментальной установке определяется спектрофотোগрафическим методом (рис.5). Спектрограммы снимали через минуту. На спектрограммах видно снижение оптической плотности, следовательно, концентрации исходного вещества.

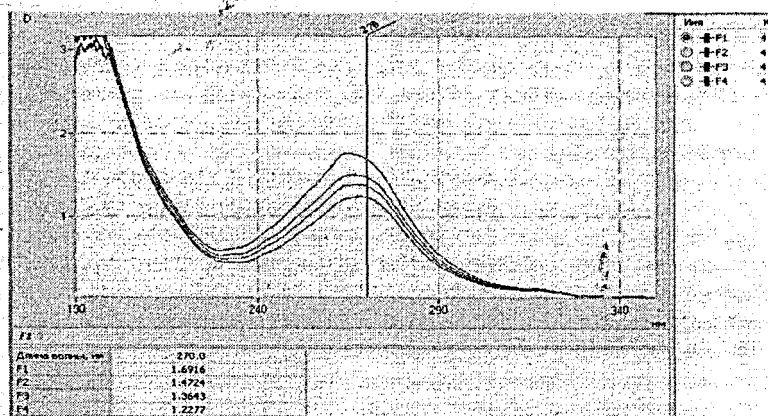


Рисунок 5 – Спектрограммы раствора имидаклоприда обработанного озонном

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Юткин, Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Ленинград: Машиностроение, 1986.

УДК 667.637.222:625.75

**Пасюк В.В.**

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

#### ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ РАЗМЕТКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Одним из важнейших направлений повышения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь является использование прогрессивных материалов для устройства светоотражающей дорожной разметки. Разметка является завершающей стадией организации движения транспортных средств и пешеходов и обеспечивает безопасность дорожного движения. Разметочные работы на автомобильных дорогах общего пользования, автотрассах и городских улицах производят в настоящее время различными раз- меточными материалами.

Традиционно для производства горизонтальной разметки автомобильных дорог используют эмали на основе органических растворителей. Технология их производства и нанесения на дорожное покрытие достаточно проста. Эмали дешевы, однако обладают рядом существенных недостатков, таких как низкая экологичность (наличие органических растворителей в составе композиции) и недолговечность, обусловленная низкой износостойкостью (устойчивостью к истиранию с абразивом – кварцевым песком).

В связи с повреждением озоновой оболочки нашей планеты выбросы растворителей (в процессе производства эмалей и в процессе их высыхания на дорожном покрытии за счет испарения растворителей) представляют собой большую экологическую проблему. В течение последних лет в России, странах западной Европы, США предпринимались попытки применять менее вредные растворители для производства эмалей дорожной разметки. Но такие растворители очень дороги и производство эмалей становится нерентабельным, так как возрастает их себестоимость, а срок службы остается на прежнем уровне. Дальнейшим шагом в решении данной экологической проблемы явилась разработка водно-дисперсионных красок. Их существенные недостатки: производство является непростым с технологической точки зрения, нанесение на дорожное полотно требует изготовления трубопроводов, различных деталей, вентилях, кранов разметочной техники из высококачественной нержавеющей стали [1].

В странах Западной Европы и США наряду с эмалями и красками для горизонтальной разметки автомобильных дорог широкое распространение получили термопластичные материалы – термопластики. Их основное преимущество перед эмалями состоит в том, что физико-механические свойства и технология нанесения позволяют увеличить толщину наносимого слоя термопластика до 2-6 мм. Следовательно, функциональная долговечность дорожной разметки (срок службы) увеличивается в 3-4 раза. Функциональная долговечность определяется периодом времени, в течение которого дорожная разметка отвечает существующим нормам, и на любом контрольном участке протяженностью 50 м разрушение разметки не превышает 50.% её площади. При этом разрушение или износ дорожной разметки не должны влиять на восприятие водителем необходимой информации по организации дорожного движения (во избежание аварийных ситуаций) [2].

Термопластик – терморазмягчаемый лакокрасочный материал в виде сыпучей смеси компонентов светло-серого цвета, в состав которого входят: полимерное термопластичное связующее в виде таблеток или гранул, минеральные наполнители и пигменты, комплекс функциональных добавок (пластификаторы, стабилизаторы, адгезивы). В качестве связующего в различных рецептурах используют нефтеполимерные смолы, эфиры канифоли (например, пентаэритритовый эфир канифоли), алкидно-акриловые сополимеры и некоторые другие термопластичные полимеры. В качестве минеральных наполнителей применяют смесь кварцевых песков различного гранулометрического состава, карбонат кальция (мопотый мрамор), доломит. Пигментами в термопластиках служит диоксид титана рутильной формы, произведенный сульфатным или хлоридным методом (белого цвета), свинцовые или свинцовомолибдатные кроны желтого и красного цветов [3, 4]. После разогрева, вымешивания, выдерживания, нанесения специальной разметочной техникой и охлаждения термопластик образует толстослойное твердое непрозрачное лакокрасочное покрытие, содержащее до 25 % световозвращающих стеклошариков.

Термопластик предназначен для горизонтальной разметки осевых, разделительных и краевых линий, пешеходных переходов, перекрестков, остановочных, поперечных, на-

правляющих, радиальных и граничных линий, мест парковки, спуска или подъема на трассах и участках автомобильных дорог с высоким потоком транспортных средств.

Термопластик может дополнительно комплектоваться высококачественными стеклошариками фракции от 400-800 мкм до 800-2000 мкм с противоскользящей добавкой (молотым мрамором или бокситной крошкой) или без неё. При нанесении термопластика специальной разметочной техникой световозвращающие стеклошарики наносят поверх свежего горячего слоя материала. Для получения максимального эффекта световозвращения используют стеклошарики специально подобранного гранулометрического состава в зависимости от толщины наносимого слоя. Поверхность стеклошариков, используемых для посыпки термопластиков, в заводских условиях обрабатывают специальными добавками для придания им гидрофобных свойств и высокой адгезии к разметочному материалу. Термопластичные материалы поставляют потребителю в полиэтиленовых мешках и загружают в маточный котёл разметочной техники вместе с ними. Тарный полиэтилен расплавляется вместе с разметочным материалом и играет роль добавки, повышающей эластичность отвержденного термопластика.

Толстослойное лакокрасочное покрытие, образованное застывшим термопластиком, сочетает в себе твердость, износостойкость, эластичность, морозостойкость, стойкость к воздействию воды и водного раствора хлорида натрия, устойчивость к воздействию переменной температур (многократный переход через 0°C), высокую адгезию к асфальтобетонному и цементобетонному дорожному полотну [5].

В связи с высокой износостойкостью термопластиков дорожную разметку ими рекомендуется производить только на участках с высокой степенью изнашивания. Такими участками являются магистрали с интенсивностью движения выше 10000 авт./сутки в крупных городах и на федеральных магистралях.

Нанесение дорожной разметки термопластиками осуществляют механизированным способом с использованием специального разметочного оборудования или вручную с использованием специальных устройств (волочильных ящиков). Рабочая температура расплава термопластика должна находиться в пределах  $(190-200) \pm 5^\circ\text{C}$ , причём перегрев материала не допускается. Преимущество термопластиков состоит в полностью механизированном способе нанесения. В процессе работы с термопластиками необходимо особое внимание уделять разметочной технике, безупречной работе термометров, контролирующих температуру в котлах, чтобы не перегреть материал, а также культуре производства.

Расход термопластиков рассчитывают согласно техническим нормативно-правовым актам (ТНПА) Республики Беларусь в зависимости от толщины слоя (в г/м<sup>2</sup>) и от ширины разметочной линии (в кг/км). Оптимальный расход термопластика зависит от состояния поверхности дорожного полотна, наличия поверхностной обработки и толщины наносимого слоя термопластика.

Термопластики должны отвечать соответствующим нормативным показателям, определяемым по стандартным методикам [6]. Требования к высококачественным термопластичным материалам для горизонтальной разметки автомобильных дорог приведены в таблице 1.

Технология нанесения термопластиков очень экономична и удобна. Стоимость разметочных работ термопластиками в пересчете на общие затраты (с учетом долговечности материала) примерно на 20-25 % ниже традиционных материалов.

Прогнозируемая функциональная долговечность горизонтальной дорожной разметки, выполненной термопластичными материалами, составляет не менее 3-х лет (для красок и эмалей этот показатель равен 6-8 месяцам).

Таблица 1 – Требования к высококачественным термопластичным материалам

Наименование показателя	Норма для термопластика
1. Цвет отвержденного термопластика	Должен соответствовать образцам-эталонам
2. Внешний вид поверхности отвержденного термопластика	Однородная поверхность без трещин, пузырей или отслоений
3. Массовая доля нелетучих веществ, %, не менее	99
4. Температура размягчения по «КИШ», °С, не менее	80
5. Однородность расплава	Отсутствие посторонних включений и расслоения
6. Растекаемость при рабочей температуре расплава, мм	110-140
7. Плотность, г/см <sup>3</sup> , не менее	1,8
8. Время отверждения при температуре (20±2)°С, мин, не более	
- до степени 3	12
- до степени 5	15
9. Коэффициент диффузного отражения (коэффициент яркости, белизна) покрытия, %, не менее, цвета	
- белого	80
- желтого	40
- оранжевого	30
- красного	20
10. Эластичность покрытия при изгибе, мм, не более	20
11. Стойкость покрытия к статическому воздействию воды и 3%-ного водного раствора хлорида натрия при температуре (20±2)°С, ч, не менее	100
12. Стойкость покрытия к статическому воздействию насыщенного водного раствора хлорида натрия при температуре (0±2)°С, ч, не менее	72
13. Стойкость покрытия к статическому воздействию бензина и индустриального масла при температуре (20±2)°С, ч, не менее	6
14. Стойкость покрытия к статическому воздействию 10%-ного водного раствора гидроксида натрия (NaOH) при температуре (20±2)°С, ч, не менее	72*
15. Условная светостойкость (изменение коэффициента диффузного отражения) при облучении покрытия 168 ч, %, не более	
- белого	2
- цветных	5
16. Морозостойкость покрытия, циклы, не менее	10
17. Адгезия к асфальтобетону, МПа, не менее:	
- до замораживания – оттаивания	0,5
- после 10 циклов замораживания – оттаивания	0,4
18. Адгезия к цементобетону, МПа, не менее	0,6*
19. Водонасыщение, % по объему, не более	0,5
*Стойкость к статическому воздействию 10%-ного водного раствора гидроксида натрия (NaOH) и адгезия к цементобетону определяется для термопластиков, предназначенных для разметки автомобильных дорог с цементобетонным покрытием	

Использование термопластиков в качестве материала для производства дорожно-разметочных работ позволяет:

- увеличить срок службы (функциональную долговечность) дорожной разметки;
- сэкономить денежные средства, материалы и энергоресурсы;
- повысить безопасность движения;

– улучшить экологическую обстановку при проведении разметочных работ (за счет отсутствия испарения органических растворителей).

Таким образом, термопластичные материалы в полной мере могут служить качественной экологически полноценной альтернативой органоразбавляемым эмалям и краскам, которые в настоящее время применяются для горизонтальной разметки асфальтобетонных и цементобетонных автомобильных дорог общего пользования.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Брок, Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / Т. Брок, М. Гротеклаус, П. Мишке; пер. с англ. под ред. Л.Н. Машляковского. – М.: Пэйнт-Медиа, 2004. – 548 с.
2. Стойе, Д. Краски, покрытия и растворители / Д. Стойе, В. Фрейтаг; пер. с англ. под ред. Э. Ф. Ицко. – СПб.: Профессия, 2007. – 528 с.
3. Ермилов, П.И. Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы: учеб. пособие для вузов / П.И. Ермилов, Е.А. Индейкин, И.А. Толмачёв. – Л.: Химия, 1987. – 200 с.
4. Скороходова, О.Н. Неорганические пигменты и их применение в лакокрасочных материалах / О.Н. Скороходова, Е.Е. Казакова. – М.: Пэйнт-Медиа, 2005. – 264 с.
5. Яковлев, А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. – Л.: Химия, 1981. – 352 с.
6. Карякина, М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М.И. Карякина. – М.: Химия, 1988. – 272 с.

УДК 631.423.3(476)

*Пилютик Е.Н.*

*Научный руководитель: к.г.н., доцент Шпендик Н.Н.*

#### УВЛАЖНЕННОСТЬ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

Агроклиматические ресурсы территории Брестской области являются наиболее благоприятными для растениеводческой продукции и решения вопроса обеспечения продовольственной безопасности страны. Вопросы устойчивого развития региона играют особую актуальность в современных условиях, когда климат и водные ресурсы начали испытывать значительную антропогенную трансформацию различных временных и пространственных масштабов. С целью рационального использования агроклиматических ресурсов Брестской области нами получена оценка условий естественного увлажнения территории.

Для оценки увлажненности территории Брестской области был использован показатель засухи и избыточного увлажнения, предложенный Д.А. Педем. В отличие от распространенных методов, основанных на обобщении данных о распределении во времени и пространстве суммы осадков, температуры и влажности воздуха, суммы накопленных температур, элементов радиационного и теплового балансов (показатель Селянинова; показатель увлажнения Иванова), показатель Педя использует комплекс относительных характеристик температур воздуха, атмосферных осадков, влажности почвы.

Выражение  $S_i$  имеет вид:

$$S_i = \frac{\Delta T}{\sigma_T} - \frac{\Delta R}{\sigma_R} - \frac{\Delta W}{\sigma_W}$$

По данному коэффициенту можно судить об интенсивности засухи (избыточного увлажнения). Чем больше эта величина, тем явление сильнее, и наоборот. При нахождении индекса  $S$  берутся аномалии  $T$ ,  $R$ ,  $E$  по сравнению с климатической нормой для

непосредственного выявления отклонения погоды каждого года от обычных условий. Для непосредственного расчета коэффициента производится нормирование значений  $\frac{\Delta T}{\sigma_T}, \frac{\Delta P}{\sigma_P}, \frac{\Delta E}{\sigma_E}$ , в результате чего они получаются одного порядка.

Для территории Брестской области характерны как засухи, так и сильное переувлажнение в различные периоды года на различных территориях. В связи с этим нами были рассчитаны коэффициенты увлажнения для метеопунктов Брестской области в многолетнем разрезе (1960-2008 гг.) для каждого месяца вегетационного периода (апрель-октябрь).

В исследованиях использовались данные 9 метеостанций, расположенных на территории Брестской области: Барановичи, Ганцевичи, Ивацевичи, Пружаны, Высокое, Пинск, Полесская, Брест, Дрогичин.

Для всех метеостанций по вышеуказанным параметрам были вычислены их средние величины (нормы) и аномалии, средние квадратические отклонения ( $\sigma$ ).

Атмосферные осадки вегетационного периода на территории области распределяются неравномерно, прослеживается тенденция некоторого убывания их в направлении с северо-востока на юго-запад. В северной части района выпадает более 420 мм осадков за вегетационный период, на юге – менее 400 мм. В среднем за вегетационный период выпадает около 410 мм осадков (Таблица 1).

Таблица 1 – Сумма месячных осадков по Брестской области

Станция	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Барановичи	38	57	76	85	65	53	45
Ганцевичи	41	58	76	84	68	53	49
Ивацевичи	40	61	69	85	63	52	44
Пружаны	36	58	75	78	71	52	40
Высокое	38	57	70	77	74	51	40
Пинск	36	54	70	78	63	48	45
Полесская	38	55	71	80	65	49	45
Брест	38	57	70	77	74	40	62
Дрогичин	37	71	67	104	80	48	42

Максимальные отклонения от нормы наблюдаются в августе, а минимальные – в апреле. Если же этот показатель рассматривать в широтном направлении, то максимальные отклонения наблюдаются в северной части области (Барановичи, Ганцевичи), минимальные – на юге (Дрогичин).

Рост и развитие сельскохозяйственных культур связаны с термическими условиями вегетационного периода. Основным показателем при оценке тепловых ресурсов вегетационного периода и периода активной вегетации являются суммы средних месячных температур воздуха. Так среднемесячная температура за период вегетации увеличивается от 8,6°С до 18,4°С. Различия температур по территории области сравнительно невелики (14,6 – на севере, 15,9 – на юге) и определяются, прежде всего, широтным положением (Таблица 2).

Максимальные отклонения от нормы наблюдаются в апреле, а минимальные в июле. Рассматривая этот показатель в широтном направлении; видно, что максимальные отклонения наблюдаются в южной части области (Пинск, Полесская, Дрогичин), минимальные – в северной части (Барановичи, Ганцевичи).

Таблица 2 – Среднемесячная температура воздуха по Брестской области

Станция	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Барановичи	8,2	13,8	16,3	18,1	16,8	11,9	6,7
Ганцевичи	8,3	17,6	16,5	18,2	16,7	11,7	6,9
Ивацевичи	8,6	14,2	16,9	18,5	17,0	12,2	7,3
Пружаны	8,4	13,9	16,3	18,2	17,8	12,1	7,3
Высокое	8,6	14,2	16,7	18,4	16,9	12,4	7,6
Пинск	9,1	14,7	17,2	18,9	17,4	12,5	7,5
Полесская	8,3	13,8	16,5	18,0	16,3	11,7	6,7
Брест	9,2	14,8	17,3	19,0	19,2	13,1	8,1
Дрогичин	8,8	14,4	17,0	18,6	17,3	12,5	7,6

Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур характеризуют запасы продуктивной влаги в почве и ее режим, которые непрерывно изменяются. Различие во увлажнении почв зависит не только от количества осадков, но и от литологии поверхностных пород (глина, суглинок, супесь, песок), и от периода развития растений. Минимальные запасы продуктивной влаги для 0-50 см слоя наблюдаются на юге области (до 50 мм) (Таблица 3).

Таблица 3 – Запасы продуктивной влаги по Брестской области

Станция	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Барановичи	106	75	63	58	48	58	77
Ганцевичи	115	87	89	86	72	64	65
Ивацевичи	91	65	51	59	46	59	78
Пружаны	95	67	47	47	56	67	74
Высокое	85	60	48	46	49	56	63
Пинск	133	111	91	83	76	73	91
Полесская	54	43	40	43	37	43	50
Брест	74	54	39	40	37	43	57
Дрогичин	81	77	67	80	59	59	72

Отклонения от нормы запасов продуктивной влаги имеют такую же тенденцию изменения, как и атмосферные осадки: максимальные отклонения от нормы – в августе, минимальные – в апреле. В широтном направлении: максимальные отклонения наблюдаются в северной части области (Барановичи, Ганцевичи), минимальные – на юге (Дрогичин).

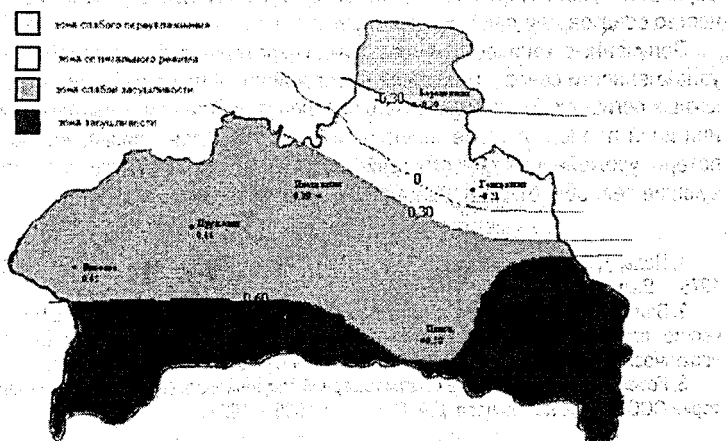
На основе агроклиматических данных (атмосферные осадки, температура воздуха, запасы продуктивной влаги в 50 см слое почвы) метеостанций были получены коэффициенты засухи Д.А. Педя за вегетационный период в многолетнем разрезе (1960-2008 гг.) для метеопунктов Брестской области (Таблица 4).

Таблица 4 – Коэффициент увлажнения Брестской области

Барановичи	-0,31
Ганцевичи	-0,21
Ивацевичи	0,39
Пружаны	0,46
Высокое	0,45
Пинск	0,58
Полесская	0,87
Брест	1,01
Дрогичин	0,73



По результатам расчетов построена карта  $S_i$ , на которой выделены зоны  $S_i > 0$  и  $S_i < 0$  с переходной граничной линией  $S_i = 0$ . Каждая зона характеризуется различной  $S_i$ .



Анализируя полученные данные с 1960 по 2008 гг. для вегетационного периода, видно, что в Брестской области за рассматриваемый период обеспеченность тепловлагоресурсами находилась в оптимуме. Однако для северных районов (Барановичи, Ганцевичи)  $S_i < 0$ , что свидетельствует о слабом переувлажнении данной территории, на юге же области (Брест, Полесская) наблюдается небольшая засушливость  $S_i > 0$ .

Кoeffициент увлажнения различен как по территории, так и в разрезе вегетационного периода. Для более детального анализа обеспечения тепловлагоресурсами территории нами были рассчитаны коэффициенты увлажнения для каждого метеопункта Брестской области в разрезе вегетационного периода. Результаты расчетов приведены в таблице 5.

Таблица 5 Коэффициент увлажнения Брестской обл. в разрезе вегетационного периода

Станция	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Барановичи	-0,23	0,13	-0,50	-1,06	-0,32	-0,51	0,44
Ганцевичи	-1,50	1,47	-0,62	-1,76	-0,79	0,50	0,85
Ивацевичи	1,91	-0,09	-0,52	-0,44	1,91	0,08	-0,09
Пружаны	0,51	1,05	1,53	-0,15	3,28	-0,61	-1,12
Высокое	-0,57	1,04	1,43	0,56	0,10	0,47	0,41
Пинск	-0,41	0,52	1,12	-1,00	1,51	0,87	1,06
Полесская	1,33	0,01	1,45	0,71	1,46	0,00	0,59
Брест	0,10	0,59	1,91	-0,15	2,56	1,33	0,99
Дрогичин	1,63	-0,87	1,01	0,42	0,99	1,21	0,48

Анализ полученных данных показывает, что для Брестской области характерно различное увлажнение как по территории, так и в разрезе вегетационного периода. Самой увлажненной является северная метеостанция Брестской области Барановичи. Самой засушливой является территория метеостанции Брест ( $S \approx 2.0$ ), как результат высоких температур, малого количества осадков и малых запасов продуктивной влаги. Также за-

сушливые явления характерны для всех метеостаций в августе, исключение составляет метеостанция Высокое. Переувлажнение характерно в июле месяце для метеостаций Барановичи, Пинск, Ганцевичи, поскольку в данный период наблюдается большое количество осадков для данных территорий.

Полученные количественные оценки свидетельствуют о незначительном различии в увлажненности северных районов Брестской области и о наличии засушливых явлений в южных регионах. Зная вероятность появления засухи или избыточного увлажнения в тот или иной период, а также их интенсивность в каждом районе, можно минимизировать потери урожайности сельскохозяйственных культур, а также корректировать существующие севообороты с учетом тепловлагообеспеченности территории.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Педь, Д.А. О показателе засухи и избыточного увлажнения // Труды гидрометеоцентра СССР, 1975. – Вып. 156. – С. 19-38.
2. Волчек, А.А. Оценка увлажненности территории Беларуси / А.А. Волчек, Н.Н. Шлендик // Экологические проблемы Полесья и сопредельных территорий: материалы VI Международной научно-практической конференции, Гомель, октябрь 2004 г. – Гомель, 2004. – С. 42-44.
3. Козельцева, В.Ф. Данные об атмосферной засушливости (Sn) по станциям западной части территории СССР / В.Ф. Козельцева, Д.А. Педь. – М., 1985. – 162 с.

УДК 628.523

**Радюк А.В.**

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Житенёв Б.Н.*

### УДАЛЕНИЕ КРАСИТЕЛЕЙ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ

Текстильная промышленность характеризуется высоким потреблением энергоресурсов, воды, химических материалов, и является сильным источником загрязнения окружающей среды, в частности – водного бассейна. При производстве 1 т готовой ткани образуется: льнокомбинаты бытовых тканей – 260-350 м<sup>3</sup> сточных вод, хлопчатобумажные комбинаты бельевых и одежных тканей 270 м<sup>3</sup>, камвольно-суконные комбинаты с цехом крашения волокна – 478 м<sup>3</sup>, тонкосуконные фабрики с цехом крашения волокна – 545 м<sup>3</sup> [1]. Производственные сточные воды текстильных предприятий содержат широкий спектр трудноудаляемых загрязнений: примеси суровых тканей, остатки волокон, шлихующие препараты, красители, текстильно-вспомогательные вещества (ТВВ), щелочи, кислоты, синтетические Поверхностно активные вещества (ПАВ), тяжелые металлы, органические растворители, формальдегид и др. Для решения проблемы очистки сточных вод текстильных предприятий используются различные методы очистки: нейтрализация, коагуляция, флотация, экстракция, сорбция, гиперфильтрация, электрохимическая очистка, биологическая очистка [2]. Одними из наиболее эффективных является электрохимические методы.

Существует несколько способов электрохимической очистки: электрофлотация, электрокоагуляция с нерастворимыми анодами, электрокоагуляция с растворимыми анодами, электрохимическая деструкция. В данном исследовании проверялась эффективность метода электрохимической деструкции с нерастворимыми анодами. В качестве объекта исследований использовался раствор красителя, моделирующий по интенсивности ок-

раски реальный раствор, поступающий на очистные сооружения ОАО «Брестский чулочный комбинат». По данным предприятия был приготовлен раствор красителя – «Ланазин черный M-DL170» (его формула представлена на рис. 1) с концентрацией 150 мг/л, содержащий также 150 мг/л хлорида натрия (во второй серии опытов количество хлорида натрия изменяется со 150 мг/л до 1000 мг/л).

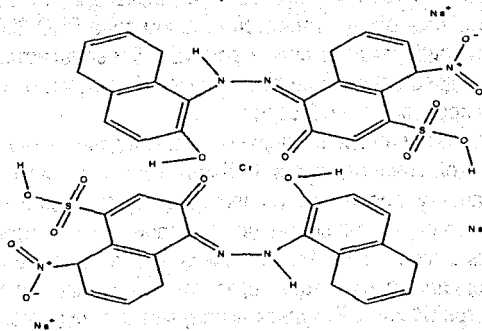
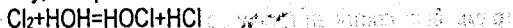


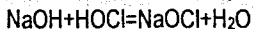
Рисунок 1 – Формула ланазина черного M-DL170

Выбор данного класса красителей обоснован тем, что кислотные красители широко применяются в легкой промышленности, в частности на ОАО «Брестский чулочный комбинат». На этом предприятии для снижения интенсивности окраски сточных вод применяют дорогостоящие импортные реагенты, такие как: «Редутекс – Бор» и «Редутекс – Рап».

В водном растворе кислотные красители диссоциируют на отрицательно заряженные анионы красителя и катионы щелочного металла. Анионы красителя в процессе электролиза под воздействием электрического поля движутся к аноду и разрезаются на нем с образованием нерастворимых форм (кислоты красителя). Параллельно на аноде происходят процессы разряда ионов гидроксила (OH<sup>-</sup>) и ионов хлора (Cl<sup>-</sup>), поскольку практически всегда в красильных растворах присутствуют различные электролиты, в основном хлорид натрия, при этом на аноде образуется кислород и хлор. Кислород в момент выделения способен окислять органические вещества, выделяющиеся на аноде, хлор, который также выделяется на аноде, является хлорирующим агентом, а в водном растворе он образует хлорноватистую кислоту, которая является сильным окислителем:



При взаимодействии хлорноватистой кислоты с гидроксидом натрия, который образуется на катоде, в растворе образуется гипохлорит натрия, также являющийся сильным окислителем:



Находящийся в растворе краситель будет окисляться образующимися гипохлоритом натрия и хлорноватистой кислотой, при этом процесс разрушения молекулы красителя «Ланазин черный» наиболее вероятно может происходить по месту координационной связи с металлом, а также по азосвязям (-N=N-). Дальнейшее окисление продуктов деградации молекулы красителя вероятно приведет к образованию замещенных нафтилсульфокислот и замещенных нафталинов. Дальнейшая доочистка стоков продуктов деградации красителя может осуществляться различными физикохимическими или биологическими методами, так как данные продукты более легко окисляемы.

Для исследования процесса электрохимической деструкции растворов кислотных красителей была собрана экспериментальная установка, которая представляет собой сосуд из оргстекла, в котором плоскопараллельно расположены два электрода, которые представляют собой: пластину из графита и пластину из нержавеющей стали. Толщина катода: 5 мм; толщина анода: 1,5 мм. Электроды погружаются полностью в раствор, размер электродов: 100\*100 мм. Установка подключена к источнику постоянного напряжения, регулировка тока осуществлялась латером типа РНО-250-2, сила тока и напряжение измерялась приборами: амперметром М2018 и вольтметром М 2007. Объем раствора красителя, подвергаемого электрохимической деструкции, составлял 1000 см<sup>3</sup>.

Эксперименты проводились в 2 серии:

1 серия: опыт выполнялся в следующей последовательности: 1000 см<sup>3</sup> раствора красителя с исходной концентрацией 150 мг/л (концентрация хлорида натрия 150мг/л) заливало в установку, после чего на электроды подавался постоянный ток 0,5 А (ампера). В течение экспериментов снимались показания амперметра и вольтметра. Измерения производились в течение 10; 15; 30; 45 мин. Через заданное время источник питания отключался, проводилась фильтрация через бумажный фильтр и проба проходила анализ на спектрофотометре СФ2000. Результаты получались в виде спектрограммы (Рис 2).

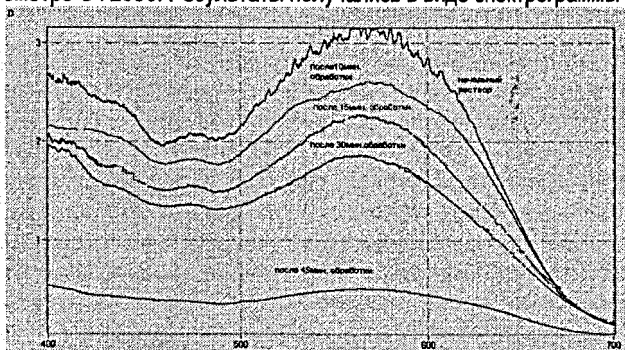


Рисунок 2 – Спектрограмма по первой серии опытов

На спектрограммах высота пиков пропорциональна концентрации.

Затем после обработки результатов, снятых с измерительных приборов, и спектрограмм был построен график зависимости концентрации красителя от количества электричества (Рис 3).

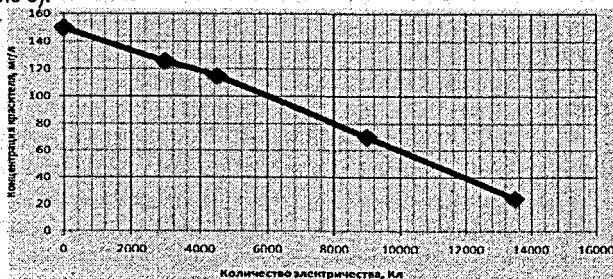


Рисунок 3 – График зависимости концентрации красителя от количества электричества

По графику можно наблюдать, что концентрация красителя «Ланазин черный» при увеличении количества электричества до 13500 Кл (кулон) снижается с 150 мг/л до 24 мг/л. Эффект удаления – 84%. Согласно полученным данным эффект очистки прямо пропорционален количеству подаваемого электричества.

2 серия: Решался вопрос как влияет концентрация хлорида натрия на эффект удаления красителя при постоянном напряжении и времени обработки. Опыты проводились при концентрации соли 150, 300, 500, 700, 1000 мг/л. Результаты получались в виде спектрограммы (Рис 4).

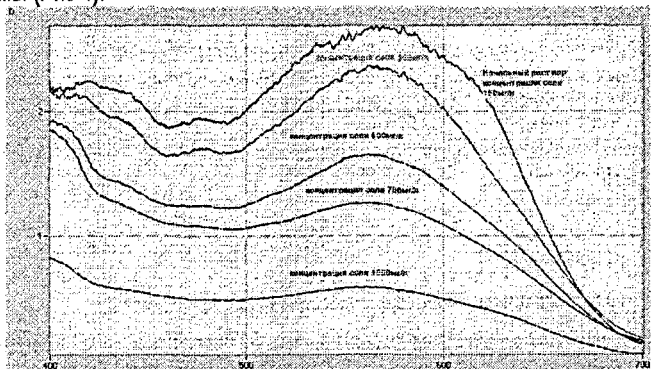


Рисунок 4 – Спектрограмма по второй серии опытов

Затем после обработки результатов, снятых с измерительных приборов, и спектрограмм был построен график зависимости остаточной концентрации красителя от концентрации хлорида натрия при постоянном напряжении и времени обработки 10 мин. (Рис 5).

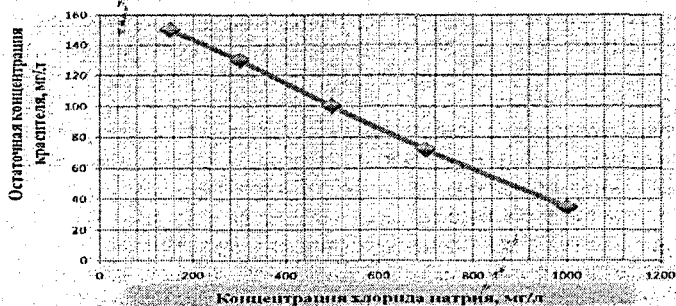


Рисунок 5 – График зависимости остаточной концентрации красителя от концентрации хлорида натрия при постоянном напряжении и времени обработки 10 минут

По графику можно наблюдать, что при увеличении концентрации хлорида натрия с 150 мг/л до 1000 мг/л при постоянном напряжении и времени обработки концентрация красителя значительно снижается (со 150 мг/л до 34 мг/л), следовательно, при обработке небольших объемов концентрированных растворов красителей (к примеру, отработанных красильных растворов) эффективно вводить для улучшения электропроводности хлорид натрия.

## **Выводы**

1. Способ электрохимической деструкции позволяет эффективно снижать цветность сточных вод текстильных предприятий, обусловленную кислотными красителями.

2. Наибольший эффект при удалении кислотных красителей из сточных вод при применении метода электрохимической деструкции с нерастворимыми анодами наблюдается при высокой концентрации соли (1000 мг/л). В результате чего сокращается время очистки.

3. Необходимо продолжать исследования с целью выявления таких параметров процесса, при которых наблюдается наибольший выход гиперхлорида по току.

## **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности / Совет Экон. Взаимопомощи. ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрологии. – М.: Стройиздат, 1982. – 528 с.

2. Жуков, А.И. Методы очистки производственных сточных вод / А.И. Жуков, И.Л. Мангайт, И.Д. Родзиллер. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.

УДК 666. 97

*Самусевич А.Н.*

*Научный руководитель: к.т.н. доцент Левчук Н.В.*

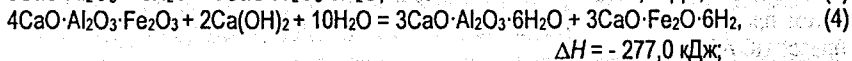
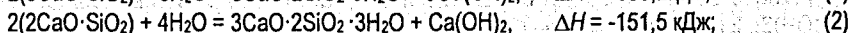
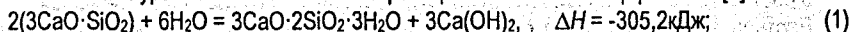
## **ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ БЕСЦЕМЕНТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК**

Неорганическими вяжущими называют вещества, тонкомолотые материалы, способные при смешивании с водой образовывать вязко-пластичную массу, которая постепенно затвердевает, превращаясь в прочное камневидное тело.

Самым часто применяемым вяжущим в строительстве является портландцемент. Сегодня высокая стоимость портландцемента, в связи с постоянным возрастанием стоимости электроэнергии, природного газа, нефти, значительным износом печей по его производству, заставляет пересмотреть устоявшуюся практику его использования. Поэтому строительные составы на основе известняка получают все более широкое распространение. Для производства таких безобжиговых вяжущих веществ и строительных материалов сырьевой базой являются широко распространённые местные материалы (глины, известняки, песчаники, опоки и др.). В настоящее время рассматриваются результаты научного поиска безобжиговых вяжущих веществ из тонкодисперсных пород. Такие материалы могут быть получены путем их модифицирования шлаками и щелочными активаторами, являющимися отходами предприятий нерудных строительных материалов, предприятий по изготовлению облицовочного камня, высокодисперсные отходы горно-обогатительных комбинатов и др. К тому же обжиговая карбонатная технология получения портландцемента связана с большими выбросами  $\text{CO}_2$ , что негативно влияет на экологическую ситуацию. Из всего добываемого в мире этого минерального сырья (100 млрд тонн в год) в качестве общественного продукта используется только 2%, а остальные 98% – в химически малоизмененном состоянии – выбрасываются в виде отходов [1].

Целью нашей работы является получение бесцементного строительного состава, который бы при твердении содержал продукты, аналогичные продуктам гидратации портландцемента.

Процессы гидратации клинкерных минералов можно представить следующими термохимическими уравнениями химических реакций и тепловыми эффектами [2].



Известь – вяжущее, обладающее большой химической активностью к кремнезему при термовлажностной обработке. С ее помощью успешно решена проблема получения бесцебеночных песчаных бетонов, так называемых силикатных. Метод производства мелкоштучных известково-песчаных автоклавных материалов (силикатный кирпич), предложенный еще в прошлом столетии немецким ученым Михаэлисом, был усовершенствован отечественными учеными и производственниками, предложившими специальные приемы подготовки сырья для получения автоклавных известково-песчаных крупногабаритных изделий. Растворимое стекло изготавливают из песка и кальцинированной соды или сульфата натрия путем сплавления их в стеклоплавильных печах при температуре 1350-1400° С и последующего быстрого охлаждения. Водные растворы метасиликата натрия имеют сильно щелочную реакцию и по своим химическим свойствам идентичны растворам щелочей. Под действием кислот на водные растворы метасиликата натрия происходит его разложение с выделением геля кремниевой кислоты.

Гипс, благодаря быстрому схватыванию и твердению в обычных условиях, является ценным вяжущим для гипсового бетона и бетонных изделий. Гипсовые бетоны обладают недостатками, ограничивающими их широкое применение: малой водостойкостью, значительной объемной деформацией, вызывающей коробление гипсовых армированных изделий; арматура в них подвергается коррозии. Перечисленные недостатки гипсобетона могут быть частично устранены путем введения в него извести, гидравлических добавок совместно с цементом.

Мел, гипс, жидкое стекло, известь способны вступать в химические реакции между собой при добавлении воды. Впоследствии образуется материал, обладающий определенной прочностью [3]. Возможно, при добавлении коллоидных растворов гидроксида алюминия хлорида железа будет происходить образование кристаллогидратов, подобных тем, которые образуются при гидратации портландцемента. Механизм этих химических реакций недостаточно изучен.

В представленной работе основой для получения бесцементного вяжущего являлся тонкомолотый карбонат кальция или мел и добавка в виде строительного гипса марки Г-4. В качестве растворов затворения использовались:

1 – коллоидный раствор гидроксида алюминия;  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , получаемый как отход электрокоагуляционного способа очистки природной воды;

2 – коллоидный раствор хлорида железа;  $\text{FeCl}_3$ , получаемый методом конденсации;

3 – раствор силиката натрия;  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , плотность которого 1.2 г/см<sup>3</sup>

На основе различных растворов затворения были приготовлены следующие составы смесей нормальной консистенции, из которых были изготовлены кубики размерами 2x2x2 см<sup>3</sup>.

1 состав: карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) + раствор затворения (силикат натрия  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  и гидроксид алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ).

2 состав: карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) и сульфат кальция ( $\text{CaSO}_4$ ) в соотношении 1:1.

В качестве раствора затворения использовался раствор, аналогичный для 1 состава.

3 состав: карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), сульфат кальция ( $\text{CaSO}_4$ ) в соотношении 1:1,5.

Раствор затворения: 1 мл силиката натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), 3 мл гидроксида алюминия ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), 2 мл хлорида железа ( $\text{FeCl}_3$ ).

После 1 суток твердения в формах образцы твердели на воздухе в течение 6 суток, затем проводили испытание на прочность. Испытания проводили на гидравлическом прессе ПСУ-10.

Полученные результаты на 7 сутки были таковы: 1 состав 5,5 ед., 2 состав – 6,3 ед., 3 состав – 7,5 ед. Преобразуем полученные результаты и получим предел прочности на сжатие.

Подставляя полученные значения в формулу, мы получим предел прочности каждого из составов:  $R^1_{сж} = 2,5 \text{ МПа}$ ,  $R^2_{сж} = 0,45 \text{ МПа}$ ,  $R^3_{сж} = 0,8 \text{ МПа}$ .

Таким образом, можно предполагать, что при смешении карбоната с раствором затворения возможно прохождение химических реакций с образованием силикатов и алюминатов кальция.

Анализируя полученные предварительные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. При введении гипса с увеличением его содержания, прочность образцов снижается на 30%.

2. Наблюдается увеличение прочности при увеличении содержания гидроксид алюминия в растворе затворения.

3. Для достижения предельного напряжения сдвига при наименьшем водотвердом отношении необходимо введение пластификатора в виде коллоидного раствора гидроксида железа.

4. Возможно повышение прочности на сжатие при введении катализатора отверждения силиката натрия.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-32/index.htm>
2. Левчук, Н.В. Влияние коллоидных растворов на процессы гидратации портландцементных систем // Свиридовские чтения: сб. ст. / ред. кол.: Т.Н. Воробьева (отв. ред.) [и др.]. – Мн.: БГУ, 2005. – Вып. 2. – С: 56-60.
3. Композиция для строительных работ: пат. № 12569 С1 ВУ, МПК С 04В 28/00 С 04В 22/00 / Н.Л. Левчук, ЕВ. Добрунов, О.Н. Семенюк / заявка № а 20070785, заявл. 2007.06.25; оубл. 2009.10.30 // Афицыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства РБ. – 2009. – № 5(70). – С. 74.

УДК 628.316

**Юрчук И. А.**

*Научный руководитель: к.т.н., ст. преподаватель Белов С. Г.*

#### ПРИМЕНЕНИЕ ОЗОНА ДЛЯ ДЕСТРУКЦИИ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

**Введение.** На кафедре ВВиОВР разрабатывается технология снижения окраски сточных вод предприятий легкой промышленности методом озонирования. Озон является одним из наиболее сильных окислителей, поэтому он способен эффективно разрушать органические соединения, в частности синтетические красители при любых значениях pH и концентраций. Однако сточные воды предприятий, использующих красители в





Кислород (концентрация кислорода 95%), вырабатываемый концентратором кислорода 1; поступает в озонатор 2, где вырабатывается озон. Озоно-кислородная смесь подается в контактную колонку 4 через диспергатор 5, при этом вода насыщается озоном. Озонированная вода из контактной колонки 4 отбирается с помощью вентиля 9. Новые порции воды в контактную колонку 4 вводятся через гидравлический затвор 8 с помощью вентиля 7.

Объектами исследований являлись растворы ароматических соединений в дистиллированной воде. Эксперимент осуществлялся следующим образом. Заданное количество органического ароматического соединения в виде концентрированного водного раствора заливали в стакан объемом 1 л, далее при непрерывном перемешивании вводили заданную дозу озона в виде его водного раствора в дистиллированной воде. После этого при необходимости доводили объем смеси растворов дистиллированной водой до 1 л. Далее исследовался спектр обработанного раствора.

**Экспериментальная часть.** В работе была исследована эффективность применения озона для деструкции двух ароматических соединений: нитробензола ( $C_6H_5NO_2$ ) и салициловой кислоты ( $HOС_6H_4COOH$ ). Данные вещества были выбраны для исследований, поскольку нитросоединения и оксисоединения являются наиболее вероятными продуктами, образующимися при разрушении синтетических красителей.

Концентрация веществ определялась из соотношения Бугера-Ламберта-Бера:

$$D = \varepsilon \cdot M \cdot l,$$

где  $D$  – оптическая плотность;  $\varepsilon$  – молярный коэффициент поглощения;  $M$  – молярная концентрация, моль/л;  $l$  – длина пути света в образце, см.

На рисунке 2 представлена зависимость концентрации нитробензола от удельной дозы озона. Исходная концентрация нитробензола составляла 10 мг/л.

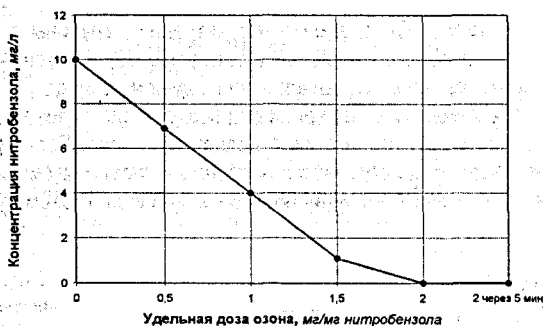
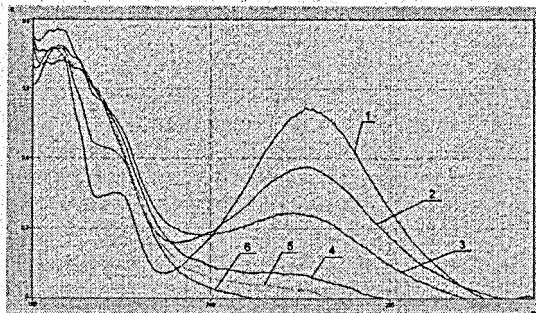


Рисунок 2 – Зависимость концентрации нитробензола от удельной дозы озона

Данные, представленные на рисунке 2, показывают, что снижение концентрации нитробензола при озонировании прямо пропорционально удельной дозе озона. При удельной дозе озона 1,5 мг озона на 1 мг нитробензола появляется перелом на графике, который можно объяснить накоплением большого количества продуктов распада нитробензола, поглощающих УФ-излучение на длине волны 268 нм., спектр которых накладывается на остаточное содержание нитробензола, поэтому при дозе озона 1,5 мг/мг нитробензола и выше остаточная концентрация нитробензола, показанная на рисунке 2, повышена.

На рисунке 3 приводятся спектры исходного и обработанных озонем растворов нитробензола, на которых отчетливо прослеживается уменьшение основного пика поглощения нитробензола на длине волны 268 нм с увеличением удельной дозы озона.



1 – исходный раствор; 2 – удельная доза озона 0,5 мг/мг нитробензола; 3 – удельная доза озона 1 мг/мг нитробензола; 4 – удельная доза озона 1,5 мг/мг нитробензола; 5 – удельная доза озона 2 мг/мг нитробензола; 6 – удельная доза озона 2 мг/мг нитробензола, через 5 минут

Рисунок 3 – УФ-спектры раствора нитробензола, обработанного различными дозами озона

Спектр поглощения раствора нитробензола, обработанного дозой 2 мг/мг нитробензола (спектр 5), не обнаруживает какого-либо пика на длине волны 280 нм, поэтому можно считать, что нитробензол в данной точке полностью разрушен, или его концентрация ниже предела обнаружения (1 мг/л).

На рисунке 4 представлена зависимость концентрации салициловой кислоты от удельной дозы озона. Исходная концентрация салициловой кислоты составляла 20 мг/л.

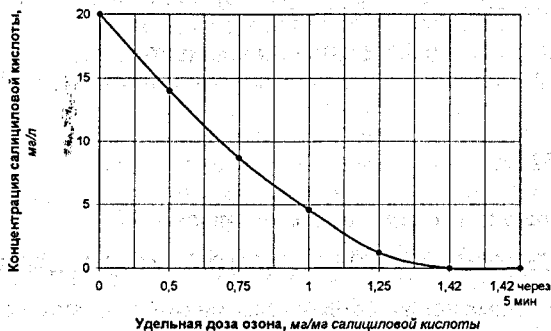
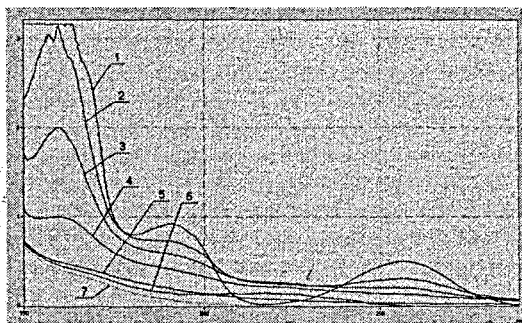


Рисунок 4 – Зависимость концентрации салициловой кислоты от удельной дозы озона

Данные, представленные на рисунке 4, показывают, что озон эффективно разрушает данное соединение, причем для полного разрушения необходима удельная доза озона 1,4 мг/мг салициловой кислоты.

На рисунке 5 представлены спектры раствора салициловой кислоты, обработанной различными дозами озона.

На спектрах растворов салициловой кислоты, обработанной озонем даже в небольших удельных дозах (0,5...0,75 мг/мг), прослеживаются значительные изменения, которые свидетельствуют о деструкции исходного вещества. При высоких удельных дозах озона наблюдается снижения поглощения во всех областях спектра, что отражает процесс разрушения как исходного вещества, так и продуктов его распада.



- 1 – исходный раствор; 2 – удельная доза озона 0,5 мг/мг салициловой кислоты; 3 – удельная доза озона 0,75 мг/мг салициловой кислоты; 4 – удельная доза озона 1 мг/мг салициловой кислоты; 5 – удельная доза озона 1,25 мг/мг салициловой кислоты; 6 – удельная доза озона 1,42 мг/мг салициловой кислоты; 7 – удельная доза озона 1,42 мг/мг салициловой кислоты, через 5 минут

Рисунок 5 – УФ-спектры раствора салициловой кислоты, обработанной различными дозами озона

**Заключение.** Выполненные исследования показывают, что озон эффективно разрушает ароматические соединения в водных растворах, реакция взаимодействия озона с данными соединения происходит практически мгновенно. Необходимая удельная доза озона для полного разрушения данных веществ в выполненных исследованиях составила 1,4...2 мг/мг вещества.

Данный метод очистки производственных сточных вод предприятий легкой промышленности имеет большие перспективы, поскольку он позволяет в отличие от многих других методов снижать концентрацию трудноокисляемых биологически стойких органических веществ. Для получения более полных данных по данному вопросу необходимо продолжать исследования в данном направлении.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чичибабин, А.Е. Основные начала органической химии. – М: Госхимиздат, 1958. – 767 с.

УДК 504.61:69:332.62

Яловая Ю.С.

Научный руководитель: к.т.н., профессор Строчак П.П.

#### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

К качественным параметрам объекта недвижимости относятся важнейшие экологические характеристики земельного участка, а именно – его загрязнение химическими веществами, захламливание, степень деградированности (нарушенности) почвенного покрова, наличие погребенных почв и грунтов, загрязненных опасными и токсическими веществами, выходы радона.

Загрязнение почв химическими веществами, а также радиационное заражение земли может приводить не просто к снижению и потере стоимости земельного участка, а к возникновению ее отрицательной величины. В этом случае формируется отрицательная стоимость, вызываемая необходимостью вложения значительных средств для приведения загрязненного участка в состояние, пригодное для использования и безопасное для нахождения на нем жилых или деловых объектов. Примером таких земель являются земельные участки, занятые радиоактивными отстойниками, содержащие в себе закрытые или погребенные свалки и полигоны промышленных и бытовых отходов. В городах, где в свое время не был налажен контроль за размещением отходов, обнаружение захоро-

ненных свалок, содержащих радиоактивные или опасные токсичные для здоровья человека отходы, может привести к резкому удорожанию строительства, делающим невыгодным осуществление проекта или привести к снижению стоимости построенных объектов после завершения их строительства.

В повышении или в снижении стоимости объектов недвижимости и имущественных прав, связанных с ними, проявляется также действие природных факторов. Но в отличие от экологических антропогенных факторов не всегда природные факторы, приводящие к повышению стоимости недвижимости, можно считать положительными. К таким факторам относятся природные явления, приводящие к удорожанию стоимости строительства. Типичным примером такого удорожания является увеличение стоимости строительных работ в горных районах из-за перепада высот и неровного рельефа, в сейсмоопасных районах из-за необходимости применения особых технологий строительства, в районах с вечной мерзлотой по аналогичным причинам. Стоимость строительства в северных условиях обычно дороже, чем в южных районах. Природных явлений, влияющих на стоимость строительных работ довольно много. Они хорошо поддаются учету при калькуляции затрат по нормативным требованиям и расценкам, применяемым в строительстве и отражаемым в различных коэффициентах повышения сметной стоимости работ.

Так же как и экологические факторы, природные факторы проявляются на региональном и локальном уровне.

К природным факторам, оказывающим влияние на региональном уровне, можно отнести благоприятные климатические условия, например, продолжительное лето, плодородные земли, здоровый климат, наличие привлекательных рекреационных объектов, например, морских или бальнеологических курортов. Примером влияния природных факторов на стоимость недвижимости на региональном уровне является более высокий уровень цен на недвижимость в престижных курортных районах по сравнению с близлежащими территориями. Основным фактором, повышающим стоимость недвижимости в этих районах, является, прежде всего, наличие уникальных по привлекательности природных объектов и условий для лечения и отдыха. Цены на квартиры и земельные участки в этих регионах приближаются к ценам столичного региона или значительно выше.

#### **Ограничения в использовании недвижимого имущества**

Наличие ограничений в использовании недвижимого имущества обычно связано с установлением различных ограничительных режимов в использовании земель и проведении функционального или иного зонирования, закрепляющего эти режимы. Особенно часто установление особых режимов и зон связано с охраной ценных природных объектов и территорий. Поэтому при определении рыночной стоимости на этапе установления прав, связанных с земельным участком, очень важно выявить зоны с особыми условиями пользования землей с целью последующего установления обременений земельных участков. Эта процедура необходима для определения элементов сравнения, подбора аналогов и анализа наиболее эффективного использования.

К зонам с особыми условиями использования земель относятся:

- территории природоохранного, заповедного, рекреационного, историко-культурного назначения;
- охранные зоны территорий природно-заповедного режима;
- зоны с разными природоохранными режимами в границах особо охраняемых территорий;
- зоны санитарной охраны курортов;

- водоохранные зоны водозаборов, гидротехнических, водоохранных сооружений и иных водных объектов;

- водоохранные и прибрежные полосы вдоль рек;
- санитарно-защитные полосы вдоль железных и автомобильных дорог, магистральных трубопроводов; линий электропередач, телефонной связи;
- охранные зоны вокруг земель, загрязненных радиоактивными и химическими веществами;
- санитарно-защитные зоны промышленных объектов;
- территории традиционной хозяйственной деятельности и природопользования коренных и малочисленных народов и этнических общностей;
- функциональные зоны внутри городов;
- территории лесного фонда с различными категориями защитности лесов.

Границы и площади таких зон, а также режимы использования земель в них устанавливаются специальными нормативными правовыми актами. Информация о них находится в земельных комитетах в материалах землеустройства или кадастровых материалах; администрациях особо охраняемых природных территорий, органах архитектуры и территориальных органах Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Особый режим использования земель в зонах может включать:

- запрет продажи земельных участков в частную собственность;
- различные ограничения в лесопользовании;
- ограничение или запрещение строительства различного рода объектов;
- ограничение или запрещение тех видов деятельности, которые несовместимы с целями установления зон;
- собственно обременение земельных участков.

По условиям функционирования земель и характеру устанавливаемых обременений и ограничений в их использовании можно выделить следующие группы зон:

- зоны санитарно-защитного и охранный назначения (зоны, связанные с негативным антропогенным воздействием);
- зоны природоохранного и природно-заповедного назначения (зоны, связанные с проблемами охраны и защиты природной среды и природных ресурсов);
- зоны оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения (зоны, выделяемые в связи с культурной и социальной сферой жизни человека).

Установление зон и ограничений в использовании земельных участков регламентируется природоохранным, земельным, лесным, водным и градостроительным законодательством.

УДК 504.61:69:332.62

*Яловая Ю.С.*

*Научный руководитель: профессор, к.т.н. Строчак П.П.*

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И СТОИМОСТЬ ЖИЛЬЯ**

Про влияние экологических факторов на здоровье людей говорят с каждым годом все больше и больше. Экологию жилища образуют три составляющие:

- экология района;

- экология дома и прилегающей территории;
- экология квартиры.

Они тесно взаимосвязаны с другими факторами, определяющими стоимость жилья. Например, развитая транспортная инфраструктура воздействует на экологию жилой застройки, а экологическое состояние окружающей среды оказывает влияние на престижность района.

Таких составляющих насчитывают более пятидесяти. Из них не менее двадцати можно прямо или косвенно отнести к экологическим воздействиям.

Экологический фактор в стоимости жилья формируется, во-первых, под воздействием субъективного представления каждого покупателя о том, что такое хорошая и плохая экология, а во-вторых, по сложившимся стереотипам и визуальной оценке.

Причина такого подхода – недостаток информации в доступных источниках о состоянии территорий, качестве материалов, используемых при жилищном строительстве; и т.п. С одной стороны, это происходит в силу незаинтересованности застройщиков в распространении такой информации, с другой – из-за отсутствия отработанной системы и механизма доведения ее государственными органами до сведения населения.

Таким образом, наибольшее влияние на цену недвижимости оказывают факторы, воздействие которых можно оценить визуально, не затрачивая особых усилий. Среди них – экология района, поскольку есть возможность установить наличие промышленных антропогенных зон, парков, уровень шума и загазованности атмосферного воздуха. Экологию дома или квартиры визуально оценить сложнее (например, уровень радиации на глаз не определить). В этом случае существенное влияние на стоимость оказывает только оценка физического износа и вида из окон квартиры, хотя он, безусловно, меняется в зависимости от времени года и даже времени суток. Кроме «видимых» экологических факторов, влияют на стоимость жилья и «невидимые» факторы при условии, что покупателю стало о них известно. Однако не стоит забывать, что именно они могут оказывать наиболее пагубное воздействие на здоровье.

За счет такого информационного вакуума и создается почва для манипуляций со стороны строительных компаний, например, использования некачественных строительных материалов для снижения себестоимости, экономия на квалифицированной рабочей силе и качестве строительных работ. Это одно из отличий новостроек от домов вторичного рынка, ведь в эксплуатируемых домах различные огрехи уже всплыли наружу, тогда как в новостройке они некоторое время могут быть незаметны.

Противоречие между интересами продавцов и покупателей приводит к тому, что строительные компании не заинтересованы в предоставлении информации по всем аспектам строительства. Высококачественные дорогие материалы используют в лучшем случае для отделки фасадов и холлов. Даже в рекламных кампаниях акцент делают обычно на использование дорогих материалов в отделке, ведь это покупатель сможет оценить визуально.

Трудности, возникающие при оценке экологических факторов, и ее субъективность дают широкие возможности для извлечения прибыли, особенно при использовании методов активного маркетинга и агрессивной риэлтерской рекламы. Степень влияния экологических факторов на стоимость зависит от класса жилья и цены квадратного метра. Строительные компании все чаще занимаются улучшением экологического окружения мест строительства.

Высокая оценка покупателями экологии жилища дает возможность сделать дом или жилой комплекс действительно уникальным и получить существенную экономическую выгоду: разница в цене 1 кв.м может достигать сотен и тысяч долларов. А поскольку строительство даже небольшого дома измеряется тысячами квадратных метров, прибыль может составить миллионы долларов.

В последние год-два при проектировании, строительстве и проведении рекламных кампаний акценты делают на озеленение фасадов, ландшафтный дизайн и благоустройство придомовой территории (особенно, если она огорожена и охраняется). Создаются ландшафты, значительно повышающие привлекательность объектов: декоративные водоемы, альпийские горки и т. п.

Более того, некоторые концепции продвижения тех или иных жилых комплексов на рынке недвижимости успешно строят именно вокруг организации ландшафтного дизайна. Показательно и различие в цене квартир одинаковой планировки и площади, расположенных в доме-новостройке на одном или соседних этажах, в зависимости от вида из окна.

Таким образом, с уверенностью можно говорить о том, что влияние экологических факторов на стоимость весьма существенно, а инвестиции в улучшение экологии жилых кварталов могут приносить ощутимый доход.

Анализ факторов, влияющих на формирование стоимости цены недвижимости, позволяет сделать определенные выводы: экология и цена жилой недвижимости – это две взаимосвязанные категории, которые необходимо неразрывно учитывать при определении стоимости недвижимости.

Повышение качества окружающей природной среды как фактора качества жилья вызовет рост цен на жилую недвижимость. Об этом свидетельствуют много фактов. Но более вероятно, что экологическая ситуация в целом сохранит тенденции, наметившиеся в последнее время.

Нам кажется, что улучшению экологии как фактора качества недвижимости города могут способствовать:

- усиление контроля со стороны соответствующих органов управления; изменение нормативно-правовых актов;
- изменение психологии жильцов в сторону повышения значимости экологического фактора;
- установление государственных дотаций для лиц, проживающих в экологически загрязненных районах.
- строительство хорошо проветриваемых широких улиц;
- разделение территории города на зоны с выделением жилых и промышленных микрорайонов;
- оснащение вредных предприятий очистными установками или вывод их за пределы города;
- реализация специфических компенсационных мероприятий, направленных на преодоление или смягчение негативных последствий загрязнения;
- разработка новых стратегий и внедрение новых инструментов хозяйствования с использованием информационных и компьютерных технологий и математических моделей;
- должное регулирование и совершенствование методов оценки показателя экономической ответственности за прошлый экологический ущерб.



## ИСТОЧНИКИ ОПАСНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ В г. БРЕСТЕ

На всех стадиях своего развития человек был тесно связан с окружающим миром. На рубеже XXI века человечество всё больше и больше ощущает на себе проблемы, возникающие при проживании в высокоиндустриальном обществе.

Опасное вмешательство человека в природу резко усилилось, расширился объём этого вмешательства, оно стало многообразнее и сейчас грозит стать глобальной опасностью для человечества. Практически ежедневно в различных уголках нашей планеты возникают так называемые чрезвычайные ситуации.

Чрезвычайная ситуация – это обстановка, сложившаяся в результате аварии, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые повлекли или могут повлечь за собой человеческие жертвы, вред здоровью людей и окружающей среде, значительные материальные потери.

Количество чрезвычайных ситуаций в мире растет лавинообразно и за последние двадцать лет возросло в 2 раза. А это значит, растёт число жертв и материальный ущерб, как в промышленности, так и на транспорте, в быту, в армии и т.д. Именно поэтому очень важным является защита населения в чрезвычайных ситуациях.

Для того, чтобы говорить об особенностях защиты населения, необходимо разобраться с понятием «опасность».

Под опасностью обычно понимают явления, процессы, объекты, способные в определенных условиях наносить ущерб здоровью человека непосредственно или косвенно, то есть вызывать нежелательные последствия.

Опасность хранят все системы, имеющие энергию, химически или биологически активные компоненты, а также характеристики, не соответствующие условиям жизнедеятельности человека.

Опасности носят потенциальный характер. Актуализация опасностей происходит при определенных условиях, именуемых причинами. Признаками, определяющими опасность, являются: угроза для жизни; возможность населения ущерба здоровью; нарушение условий нормального функционирования органов и систем человека.

В общую номенклатуру в алфавитном порядке включаются все виды опасностей: алкоголь, аномальная температура воздуха, аномальная влажность воздуха, аномальная подвижность воздуха, аномальное барометрическое давление, арборициды, аномальное освещение, аномальная ионизация воздуха, вескость, вакуум, взрыв, взрывчатые вещества, вибрация, вода, вращающиеся части машины, высота и др.

Таксономия – наука о классификации и систематизации сложных явлений, понятий, объектов. Поскольку опасность является понятием сложным, иерархическим, имеющим много признаков, таксономирование их выполняет важную роль в организации научного знания в области безопасности деятельности, позволяет глубже познать природу опасности.

По природе происхождения опасности бывают природные, техногенные, антропогенные, экологические, социальные. Согласно официальному стандарту, опасности делятся на: физические, химические, биологические, психофизиологические.

К физическим опасностям относятся электрический ток, шум, вибрация, механические воздействия, электромагнитные излучения и многие другие, оказывающие сложное отрицательное воздействие на человека.

Химические опасности, оказывающие токсическое, сенсibiliзирующее, канцерогенное и другие воздействия, представлены различными химическими веществами.

Биологические опасности, объединяющие микро- и макроорганизмы, могут быть причиной разных заболеваний и травм.

Наконец, особую группу образуют психофизиологические опасности, вызывающие нервное перенапряжение организма в целом и отдельных анализаторов.

По времени проявления отрицательных последствий опасности делятся на импульсивные и кумулятивные.

По локализации: связанные с литосферой, гидросферой, атмосферой, космосом.

По вызываемым последствиям: утомление, заболевания, травмы, аварии, пожары, летальные исходы и т.д.

По приносимому ущербу: социальные, технические, экологические и экономические опасности.

Сферы проявления опасностей: бытовая, спортивная, дорожно-транспортная, производственная, военная и др.

По структуре опасности делятся на простые и производственные, порождаемые взаимодействием простых.

По характеру воздействия на человека опасности можно разделить на активные и пассивные. К пассивным опасностям относятся опасности, активизирующиеся за счет энергии, носителем которой является сам человек.

В процессе идентификации выявляются номенклатура опасностей, вероятность их появления, пространственная локализация, возможный ущерб и другие параметры, необходимые для решения конкретной задачи.

Условия, при которых реализуются потенциальные опасности, называются причинами. Другими словами, причины характеризуют совокупность обстоятельств, благодаря которым опасности проявляются и вызывают те или иные нежелательные последствия, ущерб. Формы ущерба, или нежелательные последствия, разнообразны: травмы различной тяжести, заболевания, определяемые современными методами, урон окружающей среде и др.

Триада "опасность – причины – нежелательные следствия" – это логический процесс развития, реализующий потенциальную опасность в реальный ущерб. Как правило, этот процесс включает несколько причин, то есть является многопричинным. Одна и та же опасность может реализоваться в нежелательное событие через разные причины. В основе профилактики несчастных случаев по существу лежит поиск причин.

Население, хозяйственные объекты и окружающая природная среда должны быть защищены в ЧС, то есть должна быть обеспечена их безопасность в процессе жизнедеятельности человека. Одним из условий обеспечения безопасности является выполнение требований правовых и нормативно-технических документов, регламентирующих такую деятельность.

К правовым документам, регламентирующим вопросы защиты населения, объектов экономики и природной среды в ЧС относятся законы об охране труда, защиты окружающей среды. К основным таким документам относятся санитарные нормы (СН), нор-

мы радиационной безопасности (НРБ), строительные нормы и правила (СНИП), стандарты в области охраны труда, окружающей среды и безопасности в ЧС.

Защита населения предусматривает оповещение населения о возможном стихийном бедствии, позволяет людям принять меры защиты. Вместе с тем, современная наука и технические возможности позволяют если не исключить, то хотя бы уменьшить силу и масштабы стихийных бедствий.

Для предупреждения ЧС техногенного характера проводится комплекс мероприятий организационного, технического, правового характера, направленных на недопущение аварий и катастроф, прежде всего на потенциально опасных объектах и на транспорте. В 1993 г. Международной организацией труда принята Конвенция по предотвращению промышленных катастроф. Этой Конвенцией руководствуется и Республика Беларусь.

Проблемами предупреждения инфекционных и других заболеваний населения обычно занимаются соответствующие государственные структуры путем проведения следующих основных мероприятий на основе постоянного мониторинга и научных исследований: проведение комплекса санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий среди населения при угрозе инфекционных заболеваний; совершенствование медицинского оборудования и методик диагностики; вакцинация, синтез новых лекарств и препаратов; разъяснительная работа среди населения; оповещение населения об эпидемиях инфекционных болезней; объявление карантина или обсервации.

Масштабы экологического кризиса, угроза гибели человеческой цивилизации, многообразие экологических факторов вынуждают проводить целый комплекс мероприятий по предупреждению ЧС экологического характера. Такой комплекс мероприятий проводится по следующим направлениям:

К общим мероприятиям защиты от экологических чрезвычайных ситуаций относят: экологическую экспертизу всех видов производств; проведение экологических аудитов; рациональное размещение объектов, имеющих источники вредных выбросов в атмосферу, почву и гидросферу; установление санитарно-защитных зон вокруг некоторых промышленных объектов; принятие правовых актов по защите природной среды; принятие мер организационного, правового и технического характера по снижению загрязнения природной среды транспортом; проведение комплекса мероприятий по сохранению здоровья и продолжительности жизни человека в условиях экологических загрязнений; выполнение международных соглашений по экологическим проблемам.

Более подробно остановимся на источниках потенциальной опасности и способах защиты населения в городе Бресте.

Наиболее характерными для города Бреста чрезвычайными ситуациями являются пожары различной природы, ДТП и др. Однако существует вероятность и других более масштабных и разрушительных ЧС. Средством профилактики таких ситуаций является выполнение требований правовых и нормативно-технических документов.

Например, согласно постановлению Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 13.12.2002 N 28 "О разработке перспективных программ повышения уровня противопожарной и противоаварийной защиты опасных и иных производственных объектов", установлен перечень организаций, которые в обязательном порядке разрабатывают перспективные программы повышения уровня противопожарной и противоаварийной защиты опасных и иных производственных объектов. К ним относятся: железнодорожная станция "Брест-Северный" транспортного республиканского унитарного предприятия "Брестское отделение Белорусской железной дороги", открытое акцио-

нерное общество "Брестский мясокомбинат", открытое акционерное общество "Брестский чулочный комбинат", брестская газонаполнительная станция, железнодорожная станция "Брест-Восточный" транспортного республиканского унитарного предприятия "Брестское отделение Белорусской железной дороги".

Органом, регулирующим мероприятия по защите населения в городе, является Брестское областное управление МЧС, в составе которого действуют 12 служб, включая пожаротушение, химическую и радиационную защиты, водолазную, инженерную, кино-логическую и др.

Значительных успехов добились сотрудники областного управления МЧС в борьбе с лесными и торфяными пожарами в основном за счёт оперативного реагирования на них. Ведь, теряя минуты, значительно осложняется борьба с огнем. Поэтому во время жаркой погоды организовывается наблюдение за наиболее пожароопасными участками торфяников и лесов. На территории области дислоцируются 3 авиационных подразделения: в Бресте, Пинске и Ганцевичском районе. Они осуществляют разведку и наблюдение. Кроме этого, за определенными кварталами следит наблюдатель, который каждые час-два, в зависимости от погодных условий, предоставляет информацию. Этот способ практикуется уже более 5 лет. И он себя оправдывает.

Количество химически опасных объектов в области ежегодно уменьшается. Но остается пока проблема эксплуатации установок на предприятиях, где используется в производственных целях от 8 до 12 тонн аммиака. Контроль над ними осуществляется постоянно. На этих объектах внедрены разработанные белорусскими учеными специальные аппаратно-программные комплексы, которые определяют даже небольшие отклонения от технологического процесса и сразу передают информацию в центры оперативного управления наших подразделений.

За последние годы пожар на нефтебазе – это самое серьезное ЧП. Опасность заключалась в том, что в одном месте размещалось 6 емкостей. Как до пожара, так и сегодня на предприятии тщательно соблюдается техника безопасности. Тогда причиной пожара стала молния, и от таких ЧС застраховаться нельзя.

В довершение хотелось бы привести результаты интернет-голосования, проведенного редакцией «Брестской газеты» на тему «Какое место в Бресте Вы считаете наиболее опасным для жизни?». На момент получения информации уже проголосовали 106 человек. Из них 4% полагают, что самыми опасными для жизни являются аттракционы в парках; 3% считают опасными маршрутные такси и прочий общественный транспорт; 3% – подъезды многоэтажных домов; 5% – недострои и плохо охраняемое строительство; 7% – дискотеки, ночные клубы, бары; 12% – спальные районы, темные переулки; 4% – неогражденное железнодорожное полотно. Никто не счёл опасными территории крепости и фортов. Ещё 41% респондентов решил, что опасным может стать абсолютно любое место. 10% думают, что наш город безопасен.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность: учебное пособие / С.В. Дорошко, В.Т. Пустовит, Г.И. Млозак. – Мн.: УП «Технопринт», – 2001. – Ч.1.
2. О разработке перспективных программ повышения уровня противопожарной и противоаварийной защиты опасных и иных производственных объектов: постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 13.12.2002 N 28.
3. Статья «101» – телефон надежды // Тиборовская Т. – ООО «Вечерний Брест», июль 2009.
4. Официальный сайт «Брестской газеты» <http://www.b-g.by/>.

# ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

В настоящее время автомобильный транспорт является одним из основных средств передвижения в нашей стране. Однако в процессе его эксплуатации возникают различные проблемы, связанные с надежностью, безопасностью и экономичностью. Эти проблемы требуют комплексного подхода к их решению, включающего как совершенствование конструкции автомобилей, так и улучшение методов их эксплуатации.

Одной из основных проблем является износ деталей и узлов автомобиля, который приводит к снижению его надежности и безопасности. Для решения этой проблемы необходимо использовать высококачественные материалы и технологии изготовления, а также проводить регулярное техническое обслуживание и ремонт.

Другой важной проблемой является экономичность эксплуатации автомобиля. Это связано с расходами на топливо, смазочные материалы и ремонт. Для снижения этих расходов необходимо оптимизировать режимы движения, использовать экономичные технологии и своевременно заменять изношенные детали.

Безопасность также является одной из ключевых проблем. Это связано с необходимостью обеспечения надежной работы тормозной системы, рулевого управления и других критических узлов. Для повышения безопасности необходимо использовать современные технологии и материалы, а также проводить обучение водителей.

В заключение можно сказать, что проблемы машиностроения и эксплуатации автомобильного транспорта являются комплексными и требуют совместных усилий инженеров, ученых и водителей. Только так можно обеспечить надежную, безопасную и экономичную эксплуатацию автомобилей в нашей стране.

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СРЕДЕ AUTODESK INVENTOR**

В последние годы произошло массовое внедрение технологий трехмерного моделирования в конструкторское проектирование. Несмотря на то, что чертеж все еще остается главным документом конструктора, случаи проектирования изделия с использованием только двухмерных технологий черчения встречаются все реже и реже. На данный момент трехмерная графика применяется в любой области – начиная с проектирования крохотных деталей в радиоэлектронике и заканчивая авиастроением.

Что же такое трехмерная графика? В самом широком смысле трехмерная графика (3D-графика) – это область изобразительного искусства, предназначенная для воссоздания и визуального представления объектов реального (и не только) мира. Объект, воссозданный с помощью трехмерной графики, можно рассмотреть с разных сторон, под разными углами и даже с учетом различного освещения.

Таже трехмерная графика рассматривается как часть компьютерной графики и используется для объемного представления данных (или объектов), для проведения различных расчетов, просмотра объектов в режиме реального времени или визуализации двухмерных изображений.

На сегодняшний день трехмерная графика используется практически повсеместно в окружающем нас мире. Наиболее существенные сферы применения 3D:

- анимация – трехмерная графика используется для создания мультипликационных фильмов, постобработки художественных фильмов, а также в компьютерных играх;
- инженерное проектирование – построение трехмерных моделей деталей в машиностроении, цифровых моделей зданий в строительстве, визуализация интерьера и экстерьера в архитектуре;
- инженерные расчеты – визуализация расчетов на прочность для заданных нагрузок и геометрии, аэродинамические и гидравлические расчеты и пр.;
- системы интерактивного обучения и пр.

Создаваемый объект предстает в виде так называемого «твердого тела» – области трехмерного пространства, состоящей из однородного материала и ограниченной замкнутой поверхностью, которая сформирована из одной или нескольких стыкующихся граней.

К преимуществам твердотельного моделирования можно отнести сравнительную простоту, возможность создания очень точных моделей (полное воспроизведение по заданным размерам). Твердотельное моделирование является идеальным для применения в машиностроении, гражданском строительстве и прочих отраслях промышленности.

Для компьютерного инженерного проектирования существует специальный класс программ, которые принято называть системами автоматизированного проектирования (САПР), или САД-системами. Одной из которых является Autodesk Inventor.

Возможность представить изделие в процессе проектирования – одно из неоспоримых преимуществ любой системы трехмерного проектирования. С помощью этих систем формируются красочные изображения и демонстрируются преимущества выбранного компоновочного решения.

Целью настоящей работы было создание твердотельной модели промышленного робота ПР М40П.05.01 с подробной детализацией всех составных элементов, а затем – создание анимационного представления функционирования этого робота. Не было целью изобретение новой конструкции. Было использовано уже существующее устройство по причине доступности графических данных (чертежей и схем) о конструкции и принципах работы узлов и механизмов. Сделана попытка воссоздать (собрать) в виртуальной среде промышленный робот и «заставить» его двигаться с учетом всех механических связей (передач и приводов). И результат представить в виде фотореалистичных фотографий и видеороликов.

Специализированный промышленный робот ПР М40П предназначен для обслуживания различного технологического оборудования, в том числе металлорежущих станков с числовым программным управлением (ЧПУ) в составе гибких автоматизированных станочных систем. Оснащенный устройством ЧПУ, робот позволяет осуществлять заданные перемещения с пятью степенями свободы.

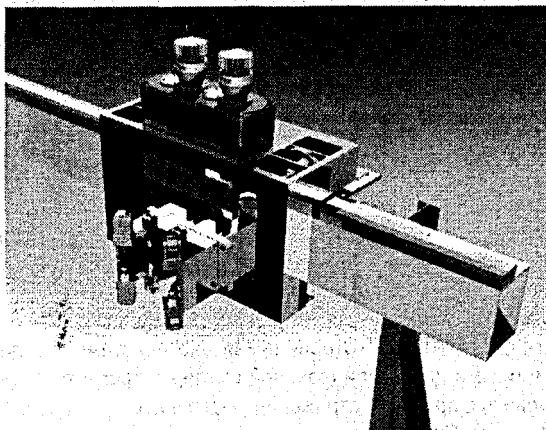


Рисунок 1 – Каретка, установленная на портале

Манипулятор ПР выполнен передвижным и имеет порталную конструкцию. На портале смонтирована передвижная каретка, несущая механизм вертикального выдвижения руки (ползун). Каретка перемещается по монорельсу, закрепленному на портале. Рука манипулятора выполнена в виде двухплечевого рычага, шарнирно закрепленного на ползуне, и может совершать качательное движение в вертикальной плоскости. На нижнем конце руки шарнирно крепится кисть со схватом. Кисть может поворачиваться относительно горизонтальной оси, а также вращаться вокруг своей оси на определенный угол. Приводы звеньев манипулятора – механические и гидравлические.

Механизм каретки смонтирован в сварном корпусе. Каретка установлена на роликовых опорах. Боковая плоскость каретки является базовой для крепления руки манипулятора.

При выполнении анимации и создания видеоматериалов использовались средства Inventor Studio.

Но что происходит, когда требуется сделать профессиональную анимацию работы изделия? Компания Autodesk включила подсистему визуализации в свои отраслевые

решения. Так, Autodesk Inventor имеет модуль Autodesk Inventor Studio. В задачи этого модуля входит создание высококачественных фотореалистичных изображений и видеороликов. Модуль полностью интегрирован в среду Autodesk Inventor, в которой и работает ассоциативно с разрабатываемой моделью.

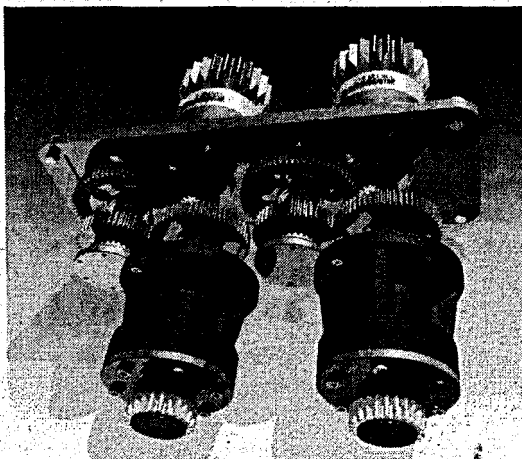


Рисунок 2 – Механизм передвижения каретки

Начнем с самого начала – с подготовки сцены. Базовые параметры сцены Inventor Studio берутся непосредственно из среды моделирования: настройки освещения, цветов, материалов, структура модели, зависимости, текущая камера.

Следующая настройка – фон картинки или ролика. В этом качестве выступает любая рабочая плоскость пространства, которая привязана к системе координат модели и обладает характеристиками цвета или фоновой картинке. Кроме того, фоновое изображение может участвовать в просчете отражений (зеркальность) и теней, отбрасываемых на плоскость фона (земля). Предварительные настройки могут быть в любой момент отредактированы.

Теперь переходим к следующей задаче – присвоению материалов. По умолчанию берутся материалы, которые заданы в среде моделирования, однако однозначностью определения физического представления изделия они, как правило, не обладают. Поэтому Inventor Studio позволяет быстро найти в своей библиотеке материал, соответствующий назначенному в среде моделирования. В результате наложения материалов в окне Autodesk Inventor мы получим уже несколько иное представление модели, которое можно отправлять на рендеринг.

При формировании высококачественного изображения учитываются предустановленные виды, текущие стили фона, освещения, настройки качества и свойства назначенных материалов. Единственное ограничение – максимальные размеры изображения, которые составляют квадрат 3000x3000 пикселей.

Чем видеоролик отличается от картинке? Конечно же, представлением динамического образа изделия. Для этого в Inventor Studio включено пять видов анимации: анимация прозрачности компонента, анимация камеры, анимация зависимости, анимация пара-



метра и анимация перемещения компонента. Кроме того, теперь вы можете совместить все эти анимации по времени, полностью смоделировав набор различных движений внутри одного механизма. Каждая анимация привязана к временным рамкам ролика и задается временем начала и окончания. Интервал выполнения анимации может определяться абсолютными рамками (временем выполнения всего ролика) или относительными, то есть моментом завершения предыдущей операции.

Начнем с анимации прозрачности. Этот механизм предназначен для того, чтобы наложить на отдельные компоненты эффект временной прозрачности или полного исчезновения. Например, мы хотим показать работу привода каретки и вращение его элементов. Для этого необходимо сделать корпус прозрачным – но только на время, чтобы это выглядело эффектно и демонстрировало реальное изделие.

Мы задаем степень прозрачности, затем период, в течение которого будет меняться прозрачность компонентов, и график ускорений. В результате на киноленте анимации появляется эффект постепенного увеличения прозрачности указанных компонентов.

Далее мы задаем процедуры перемещения камеры в процессе выполнения анимации. В действиях над камерой вы можете описать ее перемещение, поворот вокруг оси, степень приближения или удаления. Переход камеры из состояния в состояние выполняется в течение некоторого времени.

Анимация зависимостей и параметров напоминает работу инструмента вариации зависимостей в среде моделирования. Вы задаете диапазон изменения зависимости от начального (заданного в модели) до конечного (определяемого в задании анимации). Одним из вариантов анимации является включение и выключение зависимости.

Анимация же перемещения компонентов представляет собой элементарные действия по повороту и перемещению компонентов без учета наложенных зависимостей. Инструментарий не очень сложен и похож на средства, используемые при создании схем сборки-разборки.

Стоит отметить, что в интерфейсном плане все рассмотренные действия реализованы гораздо проще, нежели в профессиональных анимационных пакетах. Рядовой конструктор – это же не художник-мультипликатор, и в его работе столь сложные инструменты совершенно не нужны.

Весь набор созданных анимаций выстраивается на единой киноленте, где можно передвинуть моменты начала и окончания каждого действия и отредактировать его параметры.

Подготовив проект, нажимаем красную кнопку записи ролика. Рендеринг даже нескольких секунд ролика займет немало времени. При подготовке ролика для сжатия традиционно используются кодеки, уже установленные в системе. Настройки рендеринга ролика – те же, что при создании одиночной картинке, а результатом могут быть видеофайл или видеоряд, состоящий из набора картинок. По завершении рендеринга Inventor Studio автоматически запустит программу просмотра видеофайлов.

В результате создания трехмерной модели было выполнено более 250 оригинальных деталей и применено при сборке более 300 стандартных крепежных изделий (болты, винты, гайки, штифты и др.). Сборка осуществлялась с сохранением всех механических зависимостей (шпоночные и шлицевые соединения, зацепление в зубчатых цилиндрических и реечных передачах).

### РЕАЛИЗАЦИЯ УПРОЩЕННОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ MathCAD

Курсовой проект по деталям машин предполагает изучение основ расчета и проектирования, начиная с простейших элементов машин общего назначения. При этом значительный объем расчетной части проекта приходится на зубчатые цилиндрические передачи. Для эвольвентных цилиндрических зубчатых передач внешнего зацепления основные расчетные зависимости для расчета на прочность установлены ГОСТ 21354-87. Однако указанный стандарт [1], а также другие литературные источники [2-4], широко используемые при курсовом проектировании, приводят формулы с разными единицами одинаковых физических величин, в результате чего не соблюдаются правила независимости расчетных формул от системы единиц физических величин. По этой причине профессор М.И. Иванов [5] считает, что такие расчетные зависимости нецелесообразно использовать в учебном процессе. Основываясь на рекомендациях [5], на кафедре технической эксплуатации автомобилей УО «БрГТУ» была разработана методика упрощенного расчета цилиндрических передач [6], что позволяет студентам более глубоко уяснить сущность выполняемых расчетов и лучше изучить методику расчета зубчатых передач, работающих в закрытых корпусах.

Проектный расчет эвольвентных цилиндрических зубчатых передач по ГОСТ 21354-87 [1] рекомендует начинать с ориентировочного определения диаметра начальной окружности шестерни  $d_{w1}$  (мм) или межосевого расстояния  $a_w$  (мм):

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

$$a_{w1} = K_a (u+1) \sqrt[3]{T_2 K_{H\beta} / (\psi_{ba} [\sigma_H]^2 u^2)}, \quad (2)$$

где  $K_d$  и  $K_a$  вспомогательные коэффициенты: для прямозубых передач  $K_d = 770$ ,  $K_a = 495$ ; для косозубых и шевронных передач  $K_d = 675$ ,  $K_a = 430$ ;  $T_2$  – 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.

С методической точки зрения, при учебном проектировании не следует в расчетных зависимостях на прочность для передач зацеплением выносить из-под знака радикала приведенный модуль упругости  $E_{np}$  материалов контактируемых зубьев шестерни и колеса (для стальных зубчатых колес  $E_{np} = 2,1 \cdot 10^5$  МПа), на что неоднократно обращал внимание и проф. М.И. Иванов [5].

Поэтому при проектном расчете цилиндрических прямозубых зубчатых передач

внешнего зацепления межосевое расстояние  $a_w$  (мм) рекомендуется определять по формуле:

$$a_w = (0,82 \dots 0,87)(u+1) \sqrt[3]{E_{np} T_2 K_{H\beta} K_A / (\psi_{ba} u^2 [\sigma_H]^2)} \quad (3)$$

При проверочном расчете этих передач на сопротивление контактной усталости активных поверхностей зубьев для определения расчетных контактных напряжений  $\sigma_H$  (МПа) в полюсе зацепления предлагается формула:

$$\sigma_H = \sqrt[3]{E_{np} F_t K_{H\beta} K_{H\alpha} K_A (u+1) / (b_w d_{w1} u)} \quad (4)$$

В формулах (3) и (4):  $T_2$  – в Н·мм;  $F_t$  – окружная сила в зацеплении, Н ( $F_t = 2T_1/d_{w2}$  или  $F_t = 2T_1/d_{w1}$ );  $K_{H\alpha}$  – коэффициент, учитывающий внутреннюю динамическую нагрузку в зацеплении и принимаемый по таблицам [5; 6];  $K_A$  – коэффициент, учитывающий внешнюю динамическую нагрузку;  $b_w$  и  $d_{w1}$  – в мм.

Для цилиндрических косозубых зубчатых передач формулы для определения  $a_w$  и  $\sigma_H$  имеют вид:

$$a_w = (0,74 \dots 0,76)(u+1) \sqrt[3]{E_{np} T_2 K_{H\beta} K_A / (\psi_{ba} u^2 [\sigma_H]^2)} \quad (5)$$

$$\sigma_H = Z_{H\beta} \sqrt[3]{E_{np} F_t K_{H\beta} K_{H\alpha} K_A (u+1) / (b_w d_{w1} u)} \quad (6)$$

где  $Z_{H\beta}$  – коэффициент повышения нагрузочной способности косозубой зубчатой передачи в сравнении с прямозубой зубчатой передачей ( $Z_{H\beta} < 1$ ) [5; 6]:

$$Z_{H\beta} = \cos \beta \sqrt{K_{H\alpha} / \varepsilon_\alpha}$$

здесь  $\beta$  – угол наклона косога зуба на длительном цилиндре;  $K_{H\alpha}$  – коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями при расчете на сопротивление контактной усталости активных поверхностей зубьев;  $\varepsilon_\alpha$  – коэффициент торцового перекрытия зубьев.

При учебном курсовом проектировании в формулах (4) и (6) 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:

$$\sigma_{F1(2)} = F_t K_{F\beta} K_{F\alpha} K_A Y_{FS1(2)} Y_{F\beta} / (b_{1(2)} m_n) \quad (7)$$

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  $Y_{F\beta} = 1$ ).

Было выполнено сравнение результатов расчета зубчатой цилиндрической косозубой передачи, выполненной по ГОСТ 21354-87 и по предлагаемой упрощенной методике расчета. Проведенные расчеты показывают, что для эвольвентных цилиндрических зубчатых передач внешнего зацепления 7-ой степени точности разница в полученных результатах составляет: для геометрических и кинематических параметров – 0%, для расчетных коэффициентов на контактную выносливость – не более чем 11%, для расчет-

ных напряжений на контактную выносливость – 3%, для допускаемых напряжений на контактную выносливость – 14%, для расчетных коэффициентов на изгибную выносливость – не более чем 25%, для расчетных напряжений на изгибную выносливость – не более чем 7%, для допускаемых напряжений на изгибную выносливость – не более чем 13%; и предлагаемую методику можно использовать в учебном процессе при выполнении курсового проекта по деталям машин.

Для реализации вышеизложенного подхода к расчету зубчатых цилиндрических передач при выполнении курсового проектирования по дисциплине «Детали машин» было разработано программное обеспечение (ПО) на базе системы Math CAD, которое позволяет выполнять прочностной, проектный и проверочный расчеты, а также геометрический расчет цилиндрических передач.

ПО представляет собой документ Math CAD, в котором изложена методика расчета в соответствии с методическим пособием [6], представлены необходимые справочные данные в виде таблиц, графиков и рисунков, а также приведен пример расчета. При выполнении проектирования передач студент вводит свои исходные данные, выбирает самостоятельно в соответствии с рекомендациями материал и термообработку деталей передачи, необходимые поправочные коэффициенты, при этом происходит автоматический пересчет данных в примере расчета. Такой подход позволяет самостоятельно изучить методику расчета закрытых цилиндрических передач, при этом рутинные расчетные операции автоматизированы, что снижает трудоемкость и повышает качество выполнения курсового проекта.

Разработанная методика упрощенного расчета, ПО внедрены в учебный процесс и используются студентами машиностроительного факультета БрГТУ при выполнении курсового проекта по дисциплине «Детали машин», что сокращает затраты времени на выполнение проекта и повышает эффективность учебного процесса.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. ГОСТ 21354-87. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 128 с.
2. Скойбеда, А.Т. Детали машин и основы конструирования / А.Т. Скойбеда, А.В. Кузьмин, Н.Н. Макейчик. – Мн.: Выш. шк., 2000. – 584 с.
3. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: Выш. шк., 2004. – 496 с.
4. Курмаз, Л.В. Детали машин. Проектирование / Л.В. Курмаз, А.Т. Скойбеда. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 290 с.
5. Иванов, М.И. Детали машин. – М.: Высш. шк., 1998. – 383 с.
6. Санюкевич, Ф.М. Детали машин. – Брест: БрГТУ, 2008. – 120 с.

УДК 624.133:631.313.72

**Гурбанович А.В.**

**Научный руководитель: ст. преподаватель Есавкин В.И.**

#### ВИНТОВОЙ РЫХЛИТЕЛЬ ГРУНТА

Целью настоящей работы является усиление внимания к проблеме снижения трудозатрат и энергозатрат при рыхлении грунта на небольших участках, при работе в стесненных условиях.

С давних времен человеку приходилось выполнять работы связанные с рыхлением грунта, при строительстве зданий и сооружений, при строительстве дорог, при выполнении сельскохозяйственных работ.

Для рыхления грунта на большинстве строительных машин, на средствах малой механизации и на ручных машинах в настоящее время используются клиновые рабочие органы (зубья экскаваторов, навесных рыхлителей, отвалы бульдозеров, плуги канавокопателей, сельскохозяйственные плужные рабочие органы, клин-баба для рыхления мерзлого грунта, гидромолот и др.) [1]. Машины для рыхления мерзлого грунта работают в знакопеременном режиме нагружения (клин-баба, гидромолот), что выводит из строя механизмы и металлические конструкции машин. Фактически это работа на износ.

Меньшими энергозатратами обладают по сравнению с клиновыми рабочими органами фрезерные рабочие органы, используемые на культиваторах, в фрезерно-смесительных дорожных машинах [2]. Однако при работе фрезерных рабочих органов в каменистых грунтах механизмы машины подвергаются большим динамическим нагрузкам за счет заклинивания камней между фрезой и корпусом. При малом весе машины ее выбрасывает из борозды. Кроме того, при наличии в грунте большого количества тонких корней (деревьев, пырея) происходит наматывание их на фрезерный барабан. Такой барабан уже не фрезерует грунт, а тянет как колесо, что влечет остановку машины для очистки фрезы.

Все традиционные машины врезаются в землю, можно сказать, в лоб, работая подобно более или менее острому клину. Большая часть энергии при этом идет на то, чтобы раздвинуть грунт, по сути дела на его сжатие. Между тем, он, как и любое твердое тело, именно сжатию сопротивляется наилучшим образом.

С незапамятных времен человек дошел до шнекового бура. С помощью такого инструмента бурят в мягких породах скважины, разрабатывают пласты углей, сверлят отверстия в дереве. Что касается конструкции бура (сверла) для сверления отверстий в дереве, здесь надо подчеркнуть очень важную часть бура, а именно, в торце имеется конический винт, который создает большое тяговое осевое усилие при сверлении отверстий, т.е. прижимает бур к дереву, обеспечивая его врезание.

Подобные конические винты обладают очень высокой анкерной способностью и находят применение в анкерных сваях, для повышения устойчивости строительных кранов и другого оборудования.

Бурение скважин сопровождается рыхлением грунта и его транспортированием к устью скважины. Почему бы таким рабочим органом не рыхлить грунт, но конструктивно несколько видоизменить рабочий орган (винт) и сделать его таким, чтобы он легко заходил в грунт, т.е. сделать его коническим с заостренным концом и при рыхлении грунта расположить его наклонно на подвижной раме. При такой установке за счет вертикальной составляющей  $R'$  осевого тягового усилия винта рама будет прижиматься к грунту, т.е. будет более устойчива, а горизонтальная составляющая  $R''$  обеспечит передвижение рыхлителя.

Для проверки этого предположения был изготовлен опытный образец рыхлителя см. рис. 1 и проведены его испытания на уплотненном грунте и на участке с дерновым покрытием.

### Испытания винтового рыхлителя

Первые испытания винтового рабочего органа в полевых условиях подтвердили возможность его использования и как тягового, и как рыхлящего рабочего органа при работе на уплотненном грунте (поверхность дороги) и на дерновом покрове.

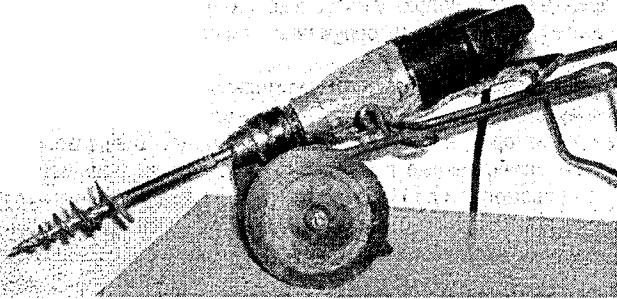


Рисунок 1 – Опытный образец рыхлителя

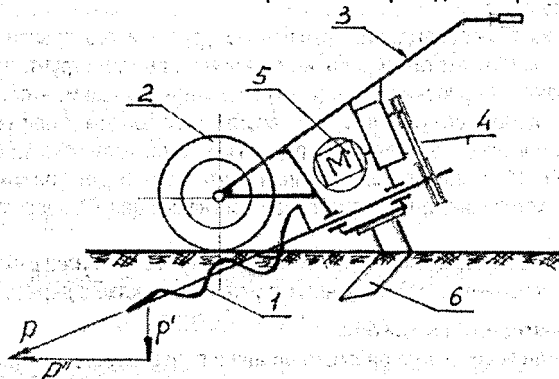
Для облегчения входа винта в землю его конец максимально был заострен, угол наклона винтовой режущей кромки и диаметр винта переменные. Угол наклона уменьшается книзу: чем он меньше, тем легче закрутить этот своеобразный штопор в землю. Для привода винта использовалась электродрель мощностью 0.5 кВт, работающая на пониженных оборотах; причем в момент входа винта в землю расположение его было вертикальное, а затем плавно винт наклонялся в сторону движения (в сторону рыхления) под углом примерно 30 к горизонту. При меньших углах винт даже выбрасывался из грунта.

При рыхлении дернового покрова корни вырывались, вращающимся винтом с земли и смещались в сторону противоположную движению, оставаясь на поверхности. Вращающийся винт на участке с большим диаметром их натягивал и подрезал, работал как винтовой конвейер, плавно без навивки корней на свою ось в отличие от фрезерного рыхлителя.

Проведенные испытания позволили сделать выводы по возможности применения винтового рабочего органа как тягового, так и разрыхляющего грунт и определиться в конструктивном его исполнении.

### Конструктивное исполнение

Конструктивное исполнение винтового рыхлителя приведено на рис. 2.



1 – винты; 2 – колесо; 3 – рама; 4 – клиноременная передача; 5 – мотор-редуктор; 6 – плоскорез

Рисунок 2 – Винтовой рыхлитель

Винтовой рыхлитель состоит из рамы 3, опирающейся на колеса 2, двух винтов 1, приводимых во вращательное движение мотором-редуктором 5, через клинопеременную передачу 4.

Испытания рыхлителя с одним винтом показали, что при больших нагрузках возникает реактивный момент, пытающийся повернуть раму вокруг оси движения. Поэтому необходимо устанавливать два винта: один левый, а второй правый по направлению винтовой линии. Такое решение позволяет обеспечить увеличение ширины рыхления, повышение производительности рыхлителя и повышение его устойчивости.

Одним из недостатков винтового рыхлителя является то, что при рыхлении между вращающимися винтами образуется зона неразрыхленного грунта, в поперечном сечении в виде трапеции. Рыхление этого участка возможно выполнить пассивным режущим органом (например, плоскорезом Фокина) [3]. Применение пассивного рыхлителя (плоскореза) позволит создать тормозное усилие и обеспечить регулировку рабочей скорости передвижения, путем изменения глубины его погружения в грунт и улучшить качество рыхления.

#### Выводы

1. Проведенные испытания винтового рабочего органа в полевых условиях позволили убедиться в его работоспособности и определить направления дальнейших исследований.

2. Испытания позволили определиться по конструктивному исполнению винтов, их количеству и необходимости установки пассивных рабочих органов.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волков, Д.П. Строительные машины – М.: Высш. шк., 1988. – 319 с.
2. Хархута, Н.Я. Дорожные машины – Л.: Высш. шк., 1968. – 415 с.
3. Лучший друг дачника // Хозяин. – Мн.: Белорусский Дом печати. – 2006. – № 5. – 47 с.

УДК 624.133:631.313.72

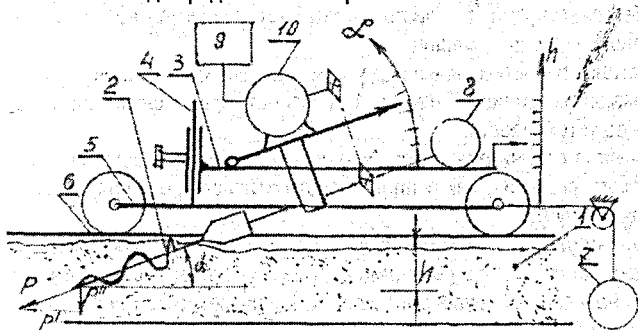
Гурбанович А.В.

Научный руководитель: ст. преподаватель Есавкин В.И.

#### ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ВИНТОВОГО РЫХЛИТЕЛЯ

Целью разработки и изготовления стенда является оптимизация технических и конструктивных параметров винтового рабочего органа рыхлителя.

Схема стенда представлена на рис. 1



- 1 – грунтовой канал;
- 2 – винт; 3 – подъемная рама; 4 – направляющая рамы; 5 – тележка;
- 6 – направляющая тележки; 7 – динамометр;
- 8 – тахометр; 9 – понижающий трансформатор;
- 10 – мотор-редуктор

Рисунок 1 – Схема стенда для испытаний винтового рыхлителя

Испытания винтового рыхлителя планируется выполнять в грунтовом канале 1, винт рыхлителя 2 установлен с возможностью вертикального перемещения для контроля глубины рыхления. Для определения оптимальных значений тяговых усилий, т.е. в зависимости от угла  $\alpha$  винт шарнирно закреплен на подъемной раме 3, перемещающейся по направляющей 4. Под действием осевого усилия ( $P$ ) тележка 5 перемещается по направляющей 6.

На лабораторном стенде планируется в зависимости от физико-механических свойств грунтов установить следующие зависимости:

$$P = f(\alpha), \quad (1)$$

$$P = f(h), \quad (2)$$

$$P = f(n), \quad (3)$$

где  $P$  – осевое усилие на винте, Н;  $\alpha$  – угол наклона винта, град.;  $h$  – глубина рыхления, мм;  $n$  – частота вращения винта, об/мин.

Определение величины  $P$  возможно по динамометру (7) и для контроля (уточнения) по величине потребляемой мощности, т.е., определив потребляемую мощность, определяем вращающий момент на валу, а по моменту осевое усилие ( $P$ ).

Оптимизация этих параметров позволит определиться в конструктивном исполнении рыхлителя и позволит определить мощность двигателя.

Проведенное испытание винтового рабочего органа для рыхления грунта в полевых условиях позволили убедиться в его работоспособности и определить направления дальнейших исследований по конструктивному исполнению самого винта, его геометрических параметров (угол подъема винтовой линии, шаг, угол заострения, угол профиля поперечного сечения витка и др.).

Важная особенность в работе винтового рыхлителя – плавность работы, что исключает динамические нагрузки, в отличие от фрезерных рабочих органов. По энергозатратам винтовые рыхлители по нашим расчетам требуют для рыхления полосы в 10 см – 0.5 кВт, а фрезерные – 1 кВт, (см. культиватор для женщин), [1] соответственно снижает его масса и трудоемкость при работе.

Отличительной особенностью работы винтового рыхлителя является то, что его рабочие органы при вращении находятся в грунте; производя его рыхление и самопередвижение, т.е. «замкнуты» в объеме, в отличие от клиновых рабочих органов и фрезерных, которые рыхлят грунт только опираясь на него, и чем больше масса машины (механизма), тем быстрее идет рыхление. Поэтому машины с такими рабочими органами обладают большими энергозатратами, т.к. часть энергии затрачивается на перемещение массивных частей машины и самих машин.

Винтовые рабочие органы, расположенные под углом, создают кроме тяговых усилий  $P'$  одновременно прижимающие усилия  $P''$  (см. рис. 1), способствующие снижению массы машины и повышающие ее устойчивость.

В этом также заключается отличительная особенность в работе винтовых рыхлителей и новизна технического решения, как в плане конструктивного решения, так и по особенностям воздействия на грунт.

Как малогабаритные средства малой механизации могут с успехом использоваться на приусадебных участках, на дачах, при рыхлении дернового покрова, при культивировании почвы, а также как навесное оборудование для рыхления мерзлого грунта на многоковшевых экскаваторах на базе колесных тракторов (МТЗ– 82).



**Вывод.** Обеспечить работоспособность и надежность винтового рыхлителя в грунтах различной категории возможно при определенных тяговых и прижимающих усилиях, т.е. экспериментально необходимо установить их соотношения.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Первый культиватор для женщин // Хозяин. – Мн.: Белорусский Дом печати, – 2009. – № 9. – С. 47.

УДК 681.5

**Зиновик М. С.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Прокопеня О. Н.**

### АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ В СРЕДЕ MATLAB

Приводы на основе двигателей постоянного тока находят широкое применение в робототехнике и других областях, где требуется регулирование скорости в широком диапазоне. В качестве силовых преобразователей в приводах большой мощности обычно используются управляемые выпрямители на тиристорах. В приводах роботов чаще применяются двигатели небольшой мощности. Для управления такими двигателями более целесообразно применять транзисторные усилители, работающие в режиме широтно-импульсного регулирования с целью снижения потерь [1]. Однако данный режим работы оказывает влияние на механические характеристики двигателя (их жесткость снижается и в большей степени зависит от нагрузки). Для сглаживания пульсаций тока часто применяют реакторы, которые повышают индуктивность цепи якоря, что увеличивает электрическую постоянную времени и оказывает влияние на динамику привода. Указанные особенности необходимо учитывать при расчете приводов.

Обязательным требованием, которое предъявляется к приводам роботов и других манипуляционных механизмов, является отработка заданного перемещения без перерегулирования. При этом следует иметь в виду, что момент инерции, приведенный к валу двигателя, может существенно изменяться в процессе работы в зависимости от положения звеньев. Это не должно заметно отражаться на характере движения. Таким образом, задача состоит в том, чтобы исследовать переходные процессы в приводе для различных вариантов построения системы управления при варьировании индуктивностью цепи якоря двигателя и приведенным моментом инерции. В результате этого исследования необходимо получить структурную схему привода и ее параметры, при которых обеспечивается требуемое качество переходных процессов в требуемом диапазоне изменения указанных варьируемых параметров.

Анализ работы привода выполнялся с использованием среды программирования MATLAB. Для построения привода был использован двигатель постоянного тока 2ПБ90М. Паспортные данные двигателя приведены в [2]. Привод рассматривается как система автоматического регулирования угла поворота. При этом передача вращения на исполнительное звено осуществляется через редуктор с передаточным отношением 785. Система должна обрабатывать заданное угловое перемещение  $180^\circ$  без перерегулирования. При этом ток и угловая скорость двигателя не должны превышать допустимых значений.

Изначально система была синтезирована методом размещения полюсов. Для этого использовалось ее описание переменными состояниями, в качестве которых приняты: угол

поворота выходного звена, угловая скорость и ток двигателя. В этом случае система является трехконтурной с обратными связями по всем переменным состояния. Практически она может быть реализована без наблюдателя состояния, поскольку все указанные переменные могут измеряться датчиками. Схема системы, построенная в приложении SIMULINK, приведена на рис. 1. С ее помощью исследовалась работа привода в процессе синтеза.

Желаемые значения полюсов назначались таким образом, чтобы получить монотонный переходной процесс. В ходе исследования было установлено, что это можно обеспечить лишь при его небольшой длительности (время регулирования до 1,5 с). Однако при этом угловая скорость и ток двигателя многократно превышают допустимые значения. При попытке увеличить время регулирования путем назначения желаемых полюсов с меньшим абсолютным значением появляется перерегулирование. На практике это означает, что система не способна обработать заданное максимальное перемещение в виде ступенчатой функции.

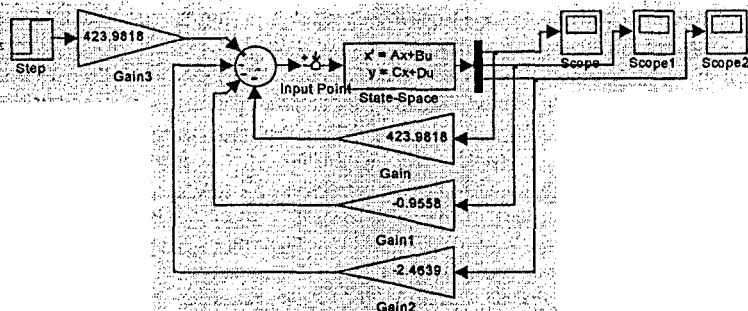


Рисунок 1 – Схема моделирования привода

Поэтому далее была исследована реакция системы на линейно возрастающий сигнал до заданного значения. При этом варьировался наклон задающей функции, т.е. заданная скорость перемещения. В результате было установлено, что угловая скорость и ток двигателя находятся в допустимых пределах, если задающий сигнал линейно возрастает до максимального значения за 20 с. При этом отработка перемещения осуществляется практически с постоянной скоростью и без перерегулирования. Реакция системы на такое воздействие показана на рис. 2.

α, рад



Рисунок 2 – Реакция системы на линейно возрастающее входное воздействие

Таким образом, порядок расчета привода при заданных параметрах двигателя, либо ограничениях на перемещение выходного звена, должен быть следующим: сначала методом размещения полюсов рассчитываются коэффициенты передачи цепей обратной связи по переменным состояниям, при которых обеспечивается нулевое перерегулирование, затем подбирается скорость нарастания задающего сигнала, при которой переменные состояния не превышают допустимых значений в процессе движения.

Последующим анализом было подтверждено, что характер движения системы не изменяется при варьировании индуктивностью цепи якоря и моментом инерции ротора в требуемых пределах. Следовательно, такая схема способна обеспечить требуемое качество регулирования перемещения в реальных условиях работы приводов манипуляционных механизмов.

Таким образом, в результате выполнения данной работы была доказана возможность синтеза системы управления приводом манипуляционных механизмов, требующих обработки перемещений без перерегулирования, методом размещения полюсов и показано, каким образом необходимо рассчитывать такие приводы.

В настоящее время разрабатывается принципиальная электрическая схема привода, что позволит изготовить опытный образец для проверки результатов данного исследования на практике. В случае положительных результатов такой проверки изложенный метод синтеза можно будет рекомендовать для расчета приводов производственных механизмов.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для студ. вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.
2. Копылов, И.П. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. / Под общ. ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – Т. 1: Машины постоянного тока. – 527 с.
3. Анхимюк, В.П. Теория автоматического управления / В.П. Анхимюк, О.Ф. Опейко, Н.Н. Михеев. – Минск: Дизайн ПРО, 2002. – 352 с.

УДК 621.9.06

*Касьян Л.В.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Горбунов В.П.*

#### АНАЛИЗ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА

При работе металлорежущего станка на шпиндельный узел (ШУ) воздействует ряд силовых факторов (как внешних, так и внутренних), влияющих на точность обработки. К основным факторам можно отнести: силы резания, усилия приводных элементов, повышенная температура, вибрация. Как показывает анализ [1], основную погрешность в работу ШУ вносят воздействия силы резания и усилия приводных элементов.

Целью данной работы является анализ воздействия силовых факторов на положение шпинделя и разработка мероприятий по повышению точности обработки.

За основу анализа взят ШУ широкоуниверсального фрезерного станка ОРША Ф32Ш (Рисунок 1). В приложении AutoCAD Mechanical была построена математическая модель ШУ: материал шпинделя – Сталь 20Х, тип опор – шариковые радиальноупорные и роли-

ковый двухрядный подшипники, схема установки подшипников – враспор, приложенные силовые факторы - составляющая  $P_z$  силы резания и крутящий момент  $T$  от приводного элемента, приняты исходя из допустимых значений режимов резания при обработке торцевыми фрезами. Следует отметить, что схема ШУ построена таким образом, что шпindelъ оказывается разгруженным, т.е. на него не воздействует изгибающая сила приводного элемента, а оказывает влияние только скручивающий момент.

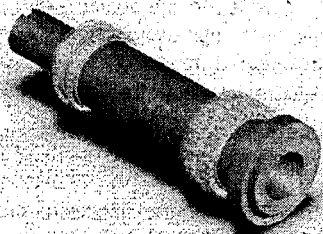
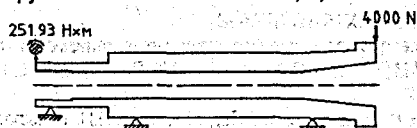
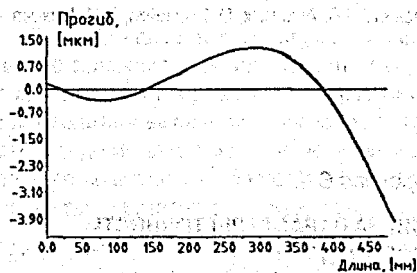


Рисунок 1 – Эскизная компоновка и графическая 3D-модель шпиндельного узла станка ОРША Ф32Ш

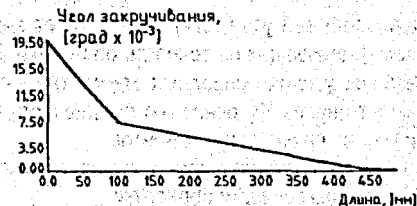
Схема нагружения и результаты расчетов приведены на рис. 2. При нагрузке на консоль ШУ в 4 кН и скручивающем моменте в 251,93 Н·м произойдет изгиб и скручивание шпинделя. При данных значениях приложенных нагрузок максимальная величина угла закручивания составляет  $\theta = 70,2^\circ$ , а максимальное отклонение оси консоли –  $\delta = 3,85$  мкм.



В результате деформации шпинделя, при формообразовании обрабатываемой поверхности будет вноситься погрешность, значение которой резко отличается при различных видах обработки.



Погрешность, вносимая закручиванием шпинделя, при обработке винтовых каналов выразится в погрешности шага; в то же время, при фрезеровании плоскостей, приведет к смещению профиля шероховатости, чем можно пренебречь [2].



Погрешность, вносимая изгибом шпинделя, при любой обработке приводит к смещению оси инструмента относительно плоскости обработки. При принятом режиме нагружения ШУ смещение оси на длине 200 мм от торца шпинделя составит 12,4 мкм, что приведет, например, при обработке размера 50 мм к снижению полученной точности с 6 до 7 квалитета.

Рисунок 2 – Результаты вычислений в AutoCAD Mechanical (расчетная схема и эпюры деформаций)

Основываясь на полученных данных, можно сделать следующие выводы:

- при проектировании конструкции шпиндельных узлов необходимо учитывать погрешности, возникающие при за-

кручивании и прогибе консоли шпинделя; с учетом их приоритета для конкретного вида обработки;

- при выборе оптимальной схемы шпиндельного узла (межопорного расстояния, вылета консоли шпинделя, формы и размеров посадочных мест) необходимо руководствоваться местом и способом приложения внутренних и внешних силовых факторов;

- при отработке управляющей программ для станков с ЧПУ необходимо производить коррекцию инструмента при выходе на эквидистанту.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Точность и надежность станков с числовым программным управлением / Под ред. А.С. Проникова. – М.: Машиностроение, 1982. – 256 с.

2. Надежность и диагностика технологических систем: учебник / В.А. Синопальников, С.Н. Григорьев. – М.: Высш. шк.; 2005. – 343 с.

УДК 629.33

*Линник Д.А., Казьмин А.А.*

*Научные руководители: ассист. Концевич П.С., ст. преподаватель Страчук И.В.*

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ

Развитие рынка конкуренции транспортных работ и услуг ставит перед действующими автотранспортными предприятиями (АТП) задачу реконструкции производства, обновления его производственно-технической базы, перед вновь создаваемыми АТП – выбора оптимальной мощности зон технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР), повышения качества работ по ТО и ТР, экономии топливно-энергетических, финансовых и трудовых ресурсов [1].

Целью данной работы является разработка математической модели функционирования зоны ТО и ТР АТП, составление алгоритма функционирования данных зон, разработка программного обеспечения для проведения вычислительного эксперимента; оценка возможностей использования имитационного моделирования для определения производственной программы по ТО автомобилей.

Вычислительный эксперимент проводится в среде GPSS-World, предназначенной для имитационного моделирования. Одним из распространенных разновидностей математического моделирования, реализуемого с помощью набора математических инструментальных средств, специальных имитирующих программ и технологий моделирования, позволяющих посредством процессов-аналогов провести целенаправленное исследование структуры и функций реального сложного процесса в памяти компьютера в режиме «имитации», выполнить оптимизацию некоторых его параметров.

Задачи работы:

- 1) организация и проведение пассивного эксперимента (наблюдения) на АТП;
- 2) статистический анализ полученных данных;
- 3) разработка и реализация имитационного моделирования, проведение вычислительных операций;
- 4) анализ результатов эксперимента.

Во время прохождения преддипломной практики на «Грузовом автомобильном парке № 1» г. Гродно (230768, улица Суворова, 256), в качестве объекта наблюдения был выбран парк автомобилей МАЗ-54323.

Исходными данными для проведения статистического анализа являлась собранная на предприятии информация из путевых и ремонтных листов для данного автомобиля за 2009 год (таблица 1):

- 1) количество рейсов и дней нахождения автомобиля в рейсе;
- 2) пробег автомобиля за каждый рейс;
- 3) среднесуточный рейсовый пробег;
- 4) количество дней и продолжительность простоя автомобиля в ТР.

Таблица 1 – Исходные данные

№	Рейсы	Дни в рейсе	Пробег, км	Лсс, км	Дата ТР	Простой в ТР, ч.
1	22.01-01.02	10	3220	322	10.02-18.02	192
2	19.02-01.03	10	3005	300,5	03.03-05.03	48
3	05.03-14.03	9	3205	356,1	15.03-18.03	72
4	19.03-29.03	10	3490	349	01.04-02.04	24
5	04.04-15.04	11	3855	350,5	17.04-21.04	96
6	21.04-26.04	5	1655	331		
7	01.05-05.05	4	2405	601,3	12.05-15.05	72
8	16.05-22.05	6	2565	427,5	22.05-27.05	120
9	27.05-05.06	9	3030	336,7		
10	12.06-18.06	6	2420	403,3	22.06-26.06	96
11	27.06-09.07	12	5600	466,7	09.07-10.07	24
12	12.07-16.07	4	1065	266,3	17.07-18.07	24
13	18.07-26.07	8	2995	374,4	01.09-03.09	48
14	03.09-12.09	9	3010	334,4	12.09-16.09	96
15	16.09-25.09	9	3065	340,6	11.10-17.10	144
16	18.10-24.10	6	2470	411,7		
17	29.10-07.11	9	3155	350,6	08.11-12.11	96
18	12.11-21.11	9	3000	333,3	22.11-27.11	120
19	30.11-02.12	3	486	162		
20	04.12-10.12	6	2490	415		
21	12.12-18.12	6	2515	419,2		
22	24.12-30.12	6	2355	392,5	20.12-23.12	72

На основании исходных данных был произведен статистический анализ пробега автомобиля до ТР и продолжительность простоя в ТР с использованием корреляционных формул в табличном процессоре MS Excel.

Длина интервала [2]:

$$A = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{m}, \text{ км}, \quad (1)$$

где  $L_{\max}$  – максимальный пробег автомобиля, км;  $L_{\min}$  – минимальный пробег автомобиля, км;  $m$  – количество интервалов.

Для большего числа попаданий принимаем число интервалов:  $m = 6$ .

Середина интервалов пробега ( $\bar{x}$ ) [2]:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^m \bar{x}_i \cdot n_i, \text{ км}, \quad (2)$$

где  $N$  – общее число наблюдаемых воздействий,  $N = 16$ ;  $\bar{x}_i$  – середина  $i$ -го интервала, км;  
 $n_i$  – число попаданий экспериментальных значений в  $i$ -й интервал.

Опытная вероятность [2]:

$$p_i = \frac{n_i}{N}. \quad (3)$$

Накопленная опытная вероятность [2]:

$$\sum p_i = \sum (p_i + p_{i-1}). \quad (4)$$

Дисперсию экспериментальных данных определяем при  $N \leq 30$  [2]:

$$D(x) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \cdot n_i, \text{ км}^2. \quad (5)$$

Среднее квадратическое отклонение [2]:

$$\sigma_x = \sqrt{D(x)}, \text{ км}. \quad (6)$$

Значение  $\sigma_x$  характеризует рассеивание, разброс значений пробега до ТР около его среднего  $\bar{x}$ .

Кoeffициент вариации [2]:

$$v_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}}. \quad (7)$$

По полученным результатам статистического анализа построили гистограмму опытных вероятностей (рис. 1), которая дает наглядное представление об опытном распределении отказов в зависимости от пробега автомобиля.

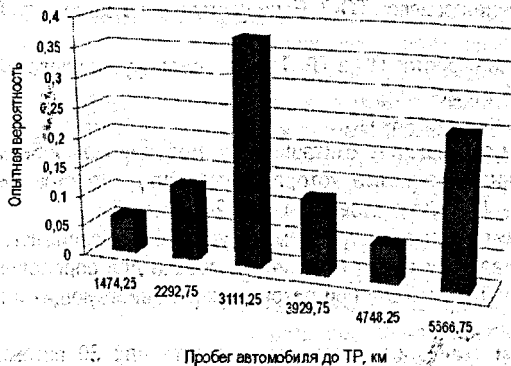


Рисунок 1 – Гистограмма опытных вероятностей

Для определения годовой производственной программы по ТО была разработана и реализована имитационная модель в GPSS-World [3, 4].

Разработанная имитационная модель состоит из следующих основных блоков:

1. Исходные данные.

Исходными данными для моделирования являются: количество автомобилей MA3-54323 (30), скорректированная периодичность ТО-1 (6400 км) и ТО-2 (19200 км), количество постов ТО-1 и ТО-2 (по одному), категория условий эксплуатации (третья), условия эксплуатации (умеренно-теплый влажный климатический район), пробег с начала эксплуатации (250000 км), время моделирования (2016 ч). Среднесуточный пробег распе-

деляется согласно нормальному закону распределения со средним значением 360 км и средним коэффициентом вариации – 0,1 [2]. Среднее квадратическое отклонение, характеризующее рассеивание признака около его среднего значения, для среднесуточного пробега составит исходя из (7):

$$\sigma_x = v_x \cdot \bar{x} = 0,1 \cdot 360 = 36, \text{ км.} \quad (8)$$

Средняя продолжительность выполнения работ ТО-1, ТО-2 и ТР составляет соответственно  $2,183 \pm 0,112$  ч,  $5,139 \pm 0,263$  ч и  $1,492 \pm 0,077$  ч.

2. Моделирование пробега до ТР. В данном блоке модели каждой единице подвижного состава (ПС) присваивается пробег до ТО.

3. Моделирование начального пробега. В данном блоке модели каждой единице ПС присваивается начальный пробег и проверяется необходимость проведения ТО-1 или ТО-2. В случае необходимости проведения ПС направляется в соответствующую зону, в противном случае он отправляется на линию.

4. Моделирование работы ПС на линии. Осуществляется моделирование работы ПС, моделирование с помощью нормального закона распределения среднесуточного пробега, его накопление и сравнение накопленного значения пробега с контрольным для направления ПС на обслуживание.

5. Моделирование работы зоны ТО-1. В данном блоке модели осуществляется постановка ПС на обслуживание и моделирование процесса ТО-1. В случае если посты в зоне ТО-1 заняты ПС занимает посты ожидания.

6. Моделирование работы зоны ТО-2. Осуществляется постановка ПС на обслуживание и моделирование процесса ТО-2. Если посты в зоне заняты, то ПС занимает посты ожидания.

7. Моделирование простоя ПС в ТР. Так же моделируется простой ПС в ТР путем задержки транзакта (автомобиля).

8. Моделирование списания ПС.

По полученным результатам имитационного моделирования была определена годовая производственная программа, которая составила для постов зоны ТО-1 – 257, для постов зоны ТО-2 – 120, для постов зоны ТР – 240 входов.

Полученная имитационная модель имитирует работу подвижного состава и зон технического обслуживания и может быть использована для определения производственной программы зон ТО-1 и ТО-2 при реконструкции действующих и проектировании новых АТП.

По результатам вычислительного эксперимента для 30 автомобилей МА3-54323, анализа полученных результатов можно сделать выводы:

1) имитационное моделирование в среде GPSS-World позволяет сокращать время на определение производственной программы зон АТП, не требует больших расчетов, обеспечивает высокую точность данных результата моделирования, что способствует выбору оптимальных решений;

2) разработанная и реализованная имитационная модель может быть использована для определения производственной программы по ТО автомобилей за различные периоды времени;

3) разработанная прикладная программа на базе GPSS-World может быть использована в учебном процессе при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Информационное обеспечение на автомобильном транспорте».



## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Болбас, М.М. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: учеб. для студентов специальности «Техническая эксплуатация автомобилей» учреждений, обеспечивающих получение высш. образования. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2004. – 528 с.: ил.
2. Кучур, С.С. Научные исследования и решение инженерных задач: учебн. пособие / С.С. Кучур, М.М. Болбас, В.К. Ярошевич. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2003. – 416 с.: ил.
3. Кудрявцев, Е.М. GPSS-World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.: ил. (Серия «Проектирование»).
4. Томашевский, В.Н. Имитационное моделирование в среде GPSS / В.Н. Томашевский, Е.Н. Жданов. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.: ил.

УДК 621.891.67

Манцевич А.В.

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

## ТОРЦОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ВАЛОВ ГИДРОМАШИН

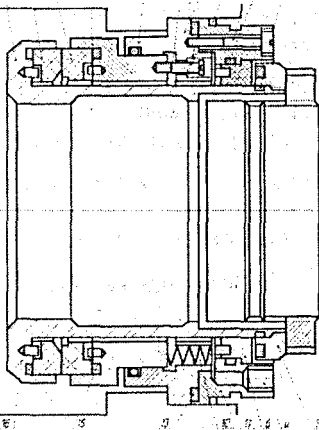
### Введение

Эффективность работы насосного оборудования при любом режиме перекачки жидких сред в основном зависит от состояния работы уплотнений. Состояние уплотнений выхода вала из корпуса центробежного насоса определяет ресурс его работы, надёжность и уровень автоматизации насосных станций, возможность перехода на «малолюдную» или «безлюдную» технологию перекачки. Небольшой по размерам узел уплотнения особенно требует пристального внимания,

поскольку разгерметизация насоса может привести к тяжким последствиям, при перекачке пожаро- и взрывоопасных сред, и нанести значительный экономический и социальный ущерб.

С широким развитием трубопроводного транспорта нефти, совершенствования технологии перекачки и технологического оборудования, требования, предъявляемые к уплотнениям насосов, всё время повышаются. Необходимо обеспечить надёжную и длительную работу уплотнений при больших величинах давления перекачки (65 атм. и более), высоких скоростях вращения вала насоса, иногда при вибрации, и наличии механических примесей в перекачиваемой среде [3,6].

Современный период эксплуатации насосов магистральных нефтепроводов характеризуется значительным повышением срока службы уплотнений. Однако общая доля отказов насосов по причине выхода из строя уплотнений остаётся преобладающей, более 30% от общего числа отказов.



- 1 – корпус уплотнения; 2 – втулка вала; 3 – аксиальноподвижная втулка; 6 и 9 – резервная пара трения; 7 и 8 – основная пара трения; 10 – пружины; 11 – корпус резинового уплотнения; 12 – винт крепления; 14 – винт фиксации; 18 – штифт; 4,5,13,15,16 и 17 – резиновые уплотнительные кольца

Рисунок 1 – Торцовое уплотнение УТН-120С

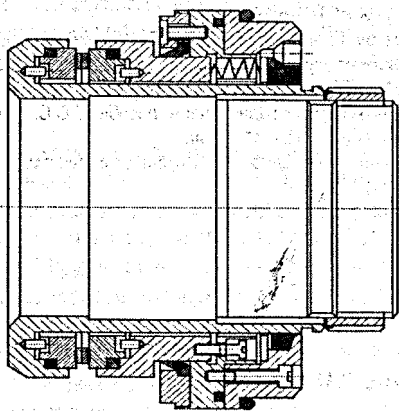


Рисунок 2 – Торцовое уплотнение УТН-120М

Если учесть, что в каждом случае отказы уплотнений требуют экстренной остановки насосного агрегата, а иногда и полностью насосной станции, при этом снижаются объёмы перекачки, то актуальность проблемы повышения надёжности и долговечности уплотнений становится очевидной. Уплотнения постоянно должны совершенствоваться и разрабатываться новые с учётом изменения условий и режимов перекачки.

Торцовому уплотнению с кольцами основной пары трения из силицированного графита присвоен шифр УТН-120С (Рис. 1), а с кольцами основной пары трения из композиционного материала ТМ-1 присвоен шифр УТН-120М (рис. 2).

### Гидравлический расчет колец из силицированного графита основной контактной пары трения торцового уплотнения

Условия равновесия осевых сил, приложенных к подвижному в осевом направлении кольцу, при гидродинамическом законе течения жидкости в зазоре определяются как

$$G - R + P_{np} \pm T = W, \quad (1)$$

где  $G = p \cdot f$  – усилие от давления уплотняемой среды на гидравлически неуравновешенную площадь контактного кольца, подвижного в осевом направлении;  $R = p_{cp} \cdot F$  – расклинивающее усилие, действующее на контакте пары трения;  $p_{cp}$  – среднее давление жидкости в торцевой щели;  $T$  – сила трения резинового элемента об аксиально-подвижную втулку, в расчётах принимаем  $T = 0$ ;  $P_{np}$  – усилие прижатия контактных колец (усилие развиваемое пружинами);  $f = \frac{\pi}{4}(d_2^2 - d^2)$  – гидравлически неуравновешенная

площадь контактного кольца;  $F = \frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2)$  – площадь контакта колец пары трения;

$W$  – суммарное усилие нагружения контакта.

Уравнение (1) можно переписать в виде:

$$p \left( \frac{f}{F} - \frac{p_{cp}}{p} \right) + \frac{P_{np}}{F} = \frac{W}{F}, \quad (2)$$

$$p(k - \alpha) + p'_{yo} = p_{yo}, \quad (3)$$

где  $k = \frac{f}{F} = \frac{d_2^2 - d^2}{d_2^2 - d_1^2}$  – коэффициент гидравлического уравновешивания;  $\alpha = \frac{p_{cp}}{p}$  – коэффициент эпюры распределения давления в торцевой щели отклонения от линейного;

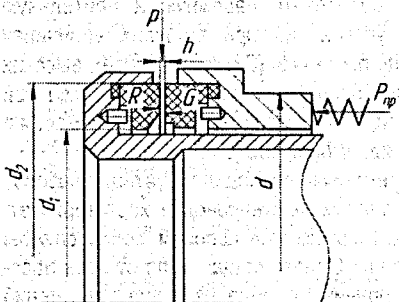


Рисунок 3 – Схема сил, приложенных к контактной паре

$$p'_{\text{ж}} = \frac{P_{\text{пр}}}{F} = \frac{4 \cdot P_{\text{пр}}}{\pi \cdot (d_2^2 - d_1^2)} \text{ — удельное нагружение контакта за счёт усилия пружин;}$$

$p_{\text{ж}}$  — суммарное удельное нагружения контакта колец пары трения.

Геометрические размеры контактных колец:  $d_2 = 169 \text{ мм}$ ;  $d_1 = 155 \text{ мм}$ ;  $d = 160 \text{ мм}$ ;  
 $h = 14 \text{ мм}$ .

Определим коэффициенты гидравлического уравнивания колец пары трения

$$k = \frac{d_2^2 - d^2}{d_2^2 - d_1^2} = \frac{169^2 - 160^2}{169^2 - 155^2} = 0,65 \quad (4)$$

Принимаем линейный закон распределения эпюры давления в торцовой щели, тогда  $\alpha = 0,5$  [1,5]

Усилие, развиваемое 18-ю пружинами сжатия, при характеристике одной пружины  $q = 22,3 \text{ Н}$  (см. чертёж)  $P_{\text{пр}} = q \cdot i = 22,3 \cdot 18 = 401,4 \text{ Н}$

Удельное нагружение контакта от усилия пружин

$$F = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) = \frac{\pi}{4} (169^2 - 155^2) \cdot 10^{-4} = 35,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad p'_{\text{ж}} = \frac{P_{\text{пр}}}{F} = \frac{401,40}{35,6 \cdot 10^{-4}} = 1,12 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Суммарное нагружение контакта колец пар трения при давлении уплотняемой среды 5,5 МПа

$$p_{\text{ж}} = p(k - \alpha) + p'_{\text{ж}} = 5,5 \cdot 10^6 (0,65 - 0,5) + 1,12 \cdot 10^5 = 937 \text{ кПа}$$

Средняя линейная окружная скорость скольжения при частоте вращения вала  $n = 3000$  об/мин.

$$v = \frac{\pi \cdot d}{30} \cdot \frac{n}{2} = \frac{\pi \cdot 3000}{30} \cdot \frac{0,162}{2} = 25,4 \text{ м/с} \quad (5)$$

**Гидравлический расчёт стальных колец с износостойким покрытием рабочих поверхностей основной контактной пары трения торцового уплотнения**

Геометрические размеры контактной пары трения:

$$d_2 = 168 \text{ мм}; d_1 = 154 \text{ мм}; d = 160 \text{ мм}, \text{ высота кольца } h = 14 \text{ мм}.$$

Коэффициент гидравлического уравнивания колец контактной пары

$$K = \frac{d_2^2 - d^2}{d_2^2 - d_1^2} = \frac{168^2 - 160^2}{168^2 - 154^2} = 0,58$$

Суммарное нагружение контакта колец пары трения при давлении уплотняемой среды 5,5 МПа по формуле (3)

$$p_{\text{ж}} = 5,5 \cdot 10^6 \cdot (0,58 - 0,5) + 1,12 = 552 \text{ кПа}$$

Средняя линейная окружная скорость скольжения при частоте вращения вала  $n = 3000$  об/мин по формуле (5)

$$v = \frac{\pi \cdot 3000}{30} \cdot \frac{0,161}{2} = 25,3 \text{ м/с}$$

$$\text{Параметр } p_{\text{ж}} \cdot v = 0,552 \cdot 10^6 \cdot 25,3 = 13,9 \frac{\text{МПа} \cdot \text{м}}{\text{с}}; [p_{\text{ж}} \cdot v] < 20,0 \frac{\text{МПа} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

**Прочностные характеристики контактных колец из силицированного графита**

В качестве материалов колец пар трения торцовых уплотнений широкое распространение получили графито-карбидокремневые композиции СГ-М, СГ-П, СГ-Т [5,6]. Эти

материалы получают путём пропитки графита жидким кремнием. Некоторые их свойства приведены в литературе [5, 6].

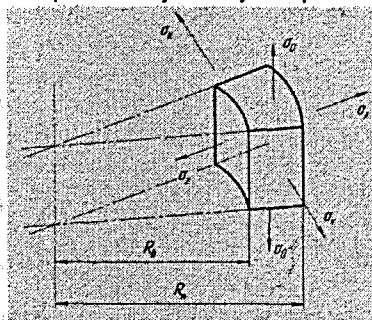


Рисунок 4 – Напряжения в теле контактного кольца

Под действием приложенного внешнего давления  $p$  контактное кольцо испытывает [2] (рис. 4). Радиальные напряжения

$$\sigma_r = -p; \quad (6)$$

Кольцевые растягивающие напряжения

$$\sigma_\theta = p \frac{R_o^2 R_i^2}{R_o^2 - R_i^2} \left( 1 + \frac{R_o^2}{R^2} \right) \quad (7)$$

осевые напряжения от расклинивающего давления на контакте

$$\sigma_z \equiv \frac{1}{2} p; \quad (8)$$

На внутренней поверхности контактного кольца при  $R = R_i$  кольцевые напряжения достигают максимума

$$\sigma_\theta = p \frac{R_o^2 + R_i^2}{R_o^2 - R_i^2}; \quad (9)$$

Согласно теории наибольших нормальных напряжений расчёт ведут по максимальному растягивающему напряжению по формуле (9). Условие прочности по этой теории выражается неравенством

$$\sigma_\theta \leq [\sigma_p] \quad (10)$$

По аналогии, исходя из уравнения прочности труб, работающих под давлением [3,4], определим рабочее давление уплотняемой среды для марок силицированного графита. Уравнение прочности имеет вид

$$npD_1 \leq 2\delta\sigma_1, \quad (11)$$

где  $\delta$  – толщина стенки кольца;  $\sigma_1$  – расчётное сопротивление материала кольца [6]

$$\sigma_1 = \sigma_1'' \cdot k_1 \cdot m_1 \cdot m_2, \quad (12)$$

где  $\sigma_1''$  – нормальное сопротивление растяжения, равное пределу прочности;  $k_1 = 0,8$  – коэффициент однородности материала;  $m_1 = 0,8$  – коэффициент условий работы материала при разрыве;  $m_2 = 0,75$  – коэффициент условий эксплуатации;  $n = 1,5$  – коэффициент перегрузки, значение которого принято с учётом пульсаций давления и динамической нагрузки контактного кольца;  $p$  – рабочее давление в камере уплотнения.

Из формулы (11) находим допустимое рабочее давление

$$p_{\text{дон}} \leq \frac{2\delta\sigma_1}{nD_1} \quad (13)$$

Для колец торцового уплотнения УТН-120С из силицированного графита СГ-М

$$p_{\text{дон}} = \frac{2 \cdot 0,0155 \cdot 30 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,75}{1,5 \cdot 0,14} = 2,1 \text{ МПа};$$

Для колец из силицированного графита СГ-П,  $p_{\text{дон}} = 2,83 \text{ МПа}$ ;

Для колец из силицированного графита СГ-Т,  $p_{\text{дон}} = 3,58 \text{ МПа}$ .

**Расчёт гидравлических параметров резервной пары трения**

Геометрические размеры контактной пары трения:  $d_2 = 151 \text{ мм}$ ;  $d_1 = 143 \text{ мм}$ ;  $d = 147,5 \text{ мм}$ .

Подвод уплотняемой среды внутренний. Тогда

$$K = \frac{d^2 - d_1^2}{d_2^2 - d_1^2} = \frac{147,5^2 - 143^2}{151^2 - 143^2} = 0,55$$

При давлении уплотняемой среды  $p=5,5$  МПа удельная нагрузка на контакт составит

$$p_{\text{уд}} = p(k - 0,5) = 5,5 \cdot 10^6 \cdot (0,55 - 0,5) = 275 \text{ кПа},$$

т.е. усилие достаточное только для закрытия стыка.

**Расчёт резьбы роторной гайки, крепящей гильзу вала на прочность**

Роторная гайка, крепящая гильзу уплотнения на валу, испытывает напряжение смятия и среза резьбы от усилия, создаваемого давлением среды на торцовое уплотнение.

На уплотнение действует осевая сила

$$F = p \cdot S = 6,5 \cdot 86,5 = 5,62 \cdot 10^4 \text{ Н},$$

где  $p$  – давление среды в камере уплотнения, принимаем равным давлению перекачки,  $p = 6,5$  МПа;

$S$  – площадь гильзы, на которую действует в осевом направлении среда с давлением  $p$ .

$$S = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) = \frac{\pi}{4} (162^2 - 125^2) = 86,5 \text{ см}^2,$$

где  $D_1$  – внутренний диаметр гильзы вала с учётом уплотнительного резинового кольца;

$D_2$  – средний диаметр контакта колец пар трения.

Условие прочности резьбы по напряжениям среза [2, 4].

$$\tau = \frac{F}{m d_1 H k K_m} \leq [\tau],$$

где  $H$  – высота навинченной части гайки.  $H = 15$  мм;  $k$  – коэффициент полноты резьбы,  $k = 0,87$ ;  $K_m$  – коэффициент неравномерности нагрузки по виткам,  $K_m = 0,6$ ;  $d_1$  – внутренний диаметр резьбы гайки,  $d_1 = 117,8$  мм для стали 40ХН;  $[\tau] = 0,2 + 0,3\sigma = 0,2 \cdot 650 = 70$  МПа [6], тогда напряжения среза резьбы

$$\tau = \frac{5,62 \cdot 10^4}{\pi \cdot 117,8 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 0,87 \cdot 0,6} = 20 \text{ МПа} < [\tau]$$
$$\tau < [\tau]$$

Условие износостойкости ходовой резьбы по напряжениям смятия

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F}{m d_2 h z} < [\sigma_{\text{см}}],$$

где  $z = \frac{H}{p} = \frac{15}{2} = 7,5$   $p=2$ , шаг резьбы;  $h$  – высота резьбового витка,

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{5,62 \cdot 10^4}{\pi \cdot (120 \cdot 1,08) \cdot 10^{-6} \cdot 7,5} = 190 \text{ МПа} < [\sigma_{\text{см}}]$$

Для стали 40ХН  $[\sigma_{\text{см}}] = 0,86 \cdot \sigma_t = 0,8 \cdot 650 = 520$  МПа, [4].

Прочность резьбового крепления обеспечена

**Вывод.** Исходя из приведённых расчётов видно, что торцовые уплотнения с контактными кольцами из силицированного графита СГ-Т при внутреннем подводе следует применять при давлении уплотняемой среды в камерах уплотнений насосов не более 3,5 МПа. В случае применения силицированного графита СГ-П и СГ-М это давление

должно быть снижено. Для торцовых уплотнений на высокое давление необходимо применение материалов контактных колец, обладающих высокими прочностными характеристиками. К ним следует отнести кольца из хромоникелевых сталей, на контактные поверхности которых нанесен износостойкий слой из композиционных порошковых смесей.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Майер, Э. Торцовые уплотнения. – М.: Машиностроение, 1978.
2. Федосеев, В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1974.
3. Транспорт и хранение нефти и газа / Н.И. Тугунов [и др.]. – М.: Недра, 1975.
4. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. – М.: Машиностроение, 1980. – Т.1.
5. Голубев, Г.А. Контактные уплотнения вращающихся валов / Г.А. Голубев, Г.М. Кукин, Г.Е. Лазарев, А.В. Чивчинадзе. – М.: Машиностроение, 1976.
6. Харламенко, В.И. Эксплуатация насосов магистральных нефтепродуктопроводов / В.И. Харламенко, М.В. Голуб. – М.: Недра, 1978.

УДК 678.027.3

*Медведев Т.А., Сушков Д.А.*

*Научные руководители: доцент Веремейчик А.И., профессор Сазонов М.И.*

### ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ

#### Введение

Генераторы низкотемпературной плазмы – плазмотроны, находят все более широкое применение в различных технологических процессах. Внедрение высококонцентрированных источников нагрева таких, как лазерный и электронный лучи, плазменная струя позволяют осуществить экономию материальных и трудовых ресурсов. Исследования и практика промышленного применения показали, что плазменный источник нагрева не только эффективно применяется наряду с лазерным и электронно-лучевыми источниками, но в некоторых процессах экономически более обоснован.

Одним из процессов, где применяются источники с высокой плотностью энергии, является поверхностное упрочнение. За счет быстрого концентрированного нагрева поверхности изделия и отвода тепла внутрь материала происходят термические фазовые и структурные превращения. В результате эксплуатационные характеристики изделия повышаются в несколько раз. Особенно целесообразна и актуальна разработка таких процессов для повышения эксплуатационных свойств изделий из дорогостоящих нержавеющей сталей.

#### Экспериментальная установка и методика исследований

Плазменная установка состоит из типового силового источника электропитания, плазмотрона постоянного тока, устройства поджига дуги, систем газо- и водоснабжения, манипуляторов перемещения плазмотрона и образцов.

Исследования проводили с применением плазмотрона удельной мощности  $2,5 \cdot 10^7 - 6,0 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>. В экспериментах использовали образцы из нержавеющей стали 14X17N2.

Микростроение металла в зоне плазменного воздействия изучали металлографическим способом с помощью приборной системы НЕОРНОТ-21. Микротвердость по глубине зоны воздействия плазменной дуги определяли по Виккерсу с использованием на-

грузки 0,981 Н ( $HV_{0,1}$ ). Фазовый состав упрочненного слоя определяли с помощью дифрактометра Philips PW 1830.

### **Основные результаты и их обсуждение**

В процессе исследований установлено, что скорость охлаждения поверхностного слоя металла, структура и свойства упрочненной зоны сильно зависят от степени локализации ввода тепла в зону нагрева.

Для генерирования плазменного источника нагрева широко используются плазмотроны прямого действия (с открытой дугой) и косвенного действия (с закрытой дугой). Как известно [1], энергетические характеристики плазмотрона в прямой степени влияют на степень локализации вводимого тепла. При функционировании плазмотрона преобразование электрической энергии в тепловую и кинетическую энергии плазменной струи происходят в зоне ее действия, и выделяемая энергия расходуется на нагрев плазмообразующего газа и, частично, на нагрев деталей плазмотрона. Согласно [1], силовые параметры плазменной струи можно изменять током и напряжением дуги, видом и расходом защитного и плазмообразующего газов, расстоянием от среза сопла плазмотрона до поверхности изделия и т.д.

Практическое применение плазменного упрочнения показало, что на термический цикл нагрева и охлаждения материалов существенное влияние оказывает изменение тока дуги, скорости движения источника нагрева, а также вид и расход плазмообразующего газа.

В работе [2] проведены исследования поверхностного упрочнения нержавеющей стали 14X17H2, которая содержит около 17% хрома и является высоколегированной сталью. Следует отметить, что такие стали трудно поддаются упрочнению с помощью традиционных методов: объемная закалка, закалка ТВЧ и др. В этой работе определены оптимальные параметры процесса при варьировании скорости движения источника и расхода плазмообразующего газа. Однако широкие исследования при изменении энергетических параметров плазмотрона, распространением этого метода на упрочнение других марок нержавеющей сталей в работе не проводились.

Нами в работе в качестве плазмообразующего газа использовался аргон и защитного – азот. Опыт применения процесса поверхностного плазменного упрочнения показал, что его можно осуществлять в нескольких вариантах: с оплавлением и без оплавления поверхности, с зазором и без зазора между упрочненными зонами (дорожками) [3]. Из этих вариантов наиболее распространенным является процесс без оплавления поверхности, так как в этом случае обеспечивается сохранение качества поверхности изделия.

При изучении плазменного упрочнения использовались стальные образцы толщиной 7-11 мм со слоистой текстурой хромистых сталей, ориентированной в направлении прокатки.

Проведен ряд экспериментов по исследованию структуры и механических свойств образцов после термообработки при различных значениях энергетических характеристик: тока  $I$  и напряжения  $U$  дуги плазмотрона.

Ток дуги изменяли в диапазонах с 13 до 28 А, напряжение дуги – с 21 до 34 В.

Проведенный металлографический анализ микроструктуры упрочненных образцов показал существенные изменения в структуре материалов в приповерхностной зоне. Во всех случаях наблюдались три более или менее выраженные отличающиеся слоя.

Установлено, что изменение напряжения в меньшей степени влияет на размер зоны теплового воздействия дуги, чем изменение тока. Так, изменение напряжения в указанных диапазонах не оказало значительное влияние на структурообразование поверхностного слоя. В то же время, изменение тока дуги заметно влияет на зону термического упрочнения.

Это обстоятельство можно объяснить тем, что при использовании плазмотронов, где в качестве плазмообразующего газа используется аргон, вольтамперные характеристики восходящие [1].

В процессе экспериментов установлено, что основным критерием, влияющим на зону термического упрочнения, следует принять мощность плазмотрона.

Проведена термообработка образцов из стали 14X17H2 при различных значениях мощности плазмотрона (рис. 1).

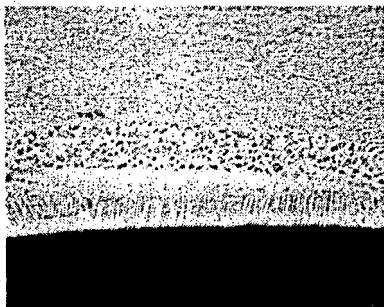


Рисунок 1 – Микроструктура стали 14X17H2 (мощность  $P = 510$  Вт,  $\times 270$ )

Анализ фотографий микроструктуры упрочненного приповерхностного слоя показал, что при малой мощности плазмотрона, равной  $P = 440$  Вт, зона упрочнения просматривается незначительно. Увеличение мощности приводит к увеличению зоны термического влияния дуги и резкому выделению трех характерных зон. Во внутренней зоне, которая плавно переходит в исходный материал, наблюдается преимущественная ориентировка зерен. Вторая зона состоит из равноосных зерен, предположительно мартенситной структуры. Поверхностный слой содержит дендритную структуру. При увеличении мощности до  $P = 510$  Вт происходит оплавление поверхности (рис. 2).

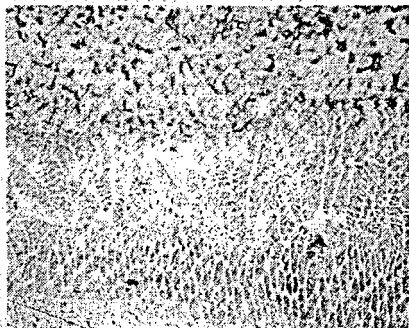


Рисунок 2 – Микроструктура стали 14X17H2 (мощность  $P = 540$  Вт,  $\times 765$ )



При большем увеличении участка (рис. 2) поверхностного слоя видна зона столбчатых кристаллов, ориентированных в направлении источника нагрева.

Изучен фазовый состав упрочненного поверхностного слоя зоны воздействия плазмы (рис. 3).

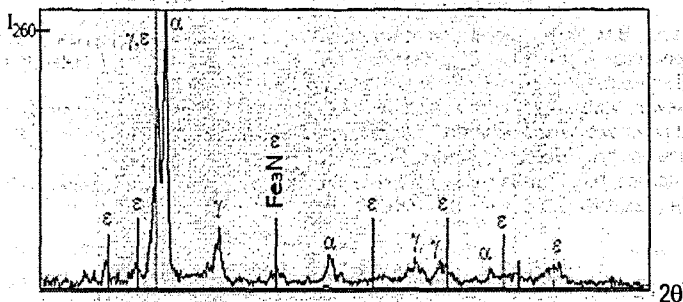


Рисунок 3 – Дифрактограмма фазового состава материала в зоне поверхностного слоя

На дифрактограмме видны пики от вновь образованных фаз. Раздвоение пиков с появлением ряда новых можно объяснить мартенситным превращением в структуре поверхностного слоя. Идентификация новых пиков указывает на присутствие нитрида железа  $Fe_3N$ . Предположительно в поверхностном слое образовался азотный мартенсит.

Проведены измерения микротвердости упрочненных образцов. Результаты показали существенный рост микротвердости по глубине поверхностного слоя по сравнению с исходным состоянием (рис. 4).

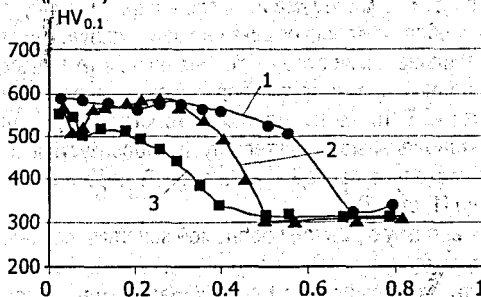


Рисунок 4 – Распределение микротвердости упрочненного слоя по глубине  
1 –  $P = 540$  Вт; 2 –  $P = 510$  Вт; 3 –  $P = 440$  Вт

Из приведенных зависимостей видно, что глубина упрочненного слоя достигает 0,43-0,68 мм.

#### Выводы

Выполненные исследования энергетических характеристик плазмотрона в процессе поверхностного упрочнения показали, что существенную роль на микростроение и тонкую структуру нержавеющей (хромистых сталей) оказывает мощность плазмотрона.

За счет высокой концентрации тепла в зоне нагрева, быстрых проникновения и отвода тепла в поверхностном слое привели к структурным и фазовым превращениям и образованием азотистого мартенсита.

Микротвердость поверхностного слоя увеличилась почти в два раза, а упрочненный слой достигает глубины 0,68 мм.

Процесс поверхностного плазменного упрочнения в ряде приложений не требует дополнительных финишных операций по обработке изделий.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хвисевич, В.М. Использование генераторов плазмы с высокой концентрацией энергии в технологических процессах упрочнения / В.М. Хвисевич, М.И. Сазонов, С. Якушевич // *Materialy seminaryjne IV Konferencji naukowo – praktycznej*. – Białystok – Suwałki, 2005. – S. 17-23.

2. Chvisevich, V.M. Jakuszewicz. Kształtowanie mikrostruktury powierzchni stali chromowej H17N2 podczas obróbki plazmowej w środowisku ochronnym azotu / V.M. Chvisevich, M.I. Sazonow, S. Jakuszewicz // *Inżynieria powierzchni – Wąszawa*; 2005. – № 4. – S. 34-38.

3. Спиридонов, Н.В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н.В. Спиридонов [и др.]. – Мн.: Вышэйшая школа, 1988. – 158 с.

УДК 693.22.004.18

*Парфиевич А.Н.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Драган А.В.*

#### МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОРОБКИ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕДАЧ ТОКАРНОГО СТАНКА МОД. СН-401 ПО ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Практикуемые в настоящее время способы контроля технического состояния зубчатых передач и приводов часто предполагают разборку изделия. Эта процедура нарушает приработку деталей и вследствие этого сокращает срок их службы, поэтому остается актуальной проблема свести до минимума их число в период эксплуатации изделия. Это позволило бы перейти к обслуживанию объекта в ходе эксплуатации по его фактическому состоянию. Использование в качестве критериев оценки технического состояния зубчатых передач вибрационных параметров в определенной степени отвечает принципам безразборной диагностики. В то же время можно констатировать, что практикуемые в настоящее время функциональные характеристики виброакустического сигнала характеризуют техническое состояние передачи не в полной мере и не раскрывают весь потенциал данного метода [1, стр. 2].

В настоящее время вплотную данной проблемой занялись специалисты БрГТУ. В качестве средства для проведения экспериментальных исследований многовального привода в БрГТУ совместно со специалистами БГУ разработан аппаратно-программный комплекс (рис.1), воплотивший в себе все основные возможности в соответствии с современными тенденциями развития данного направления.

Комплекс позволяет проводить точные измерения по 6 независимым каналам параметров виброускорений, шума и угловых перемещений. При этом в синхронном режиме фиксируются колебательные процессы от очень медленных (так называемых квазистатических) до высокочастотных, которыми характеризуется процесс в механических приводах.

В качестве датчиков для замера кинематической погрешности и угловых колебаний, а также для контроля частот вращения валов с использованием комплекса используются фотоэлектрические преобразователи угловых перемещений ЛИР – 158Б.000ПС1, устанавливаемых на входном и выходном валах передачи.

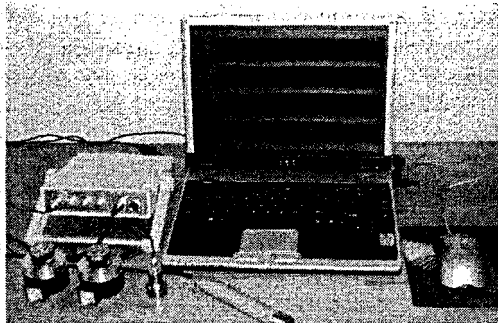


Рисунок 1 – Аппаратно-программный комплекс для исследования и диагностики механических приводов.

В качестве вибродатчика в составе макетного образца системы используется пьезоэлектрический виброакселерометр модели AP98-100-1.

В качестве датчиков для замера акустического шума с использованием макетного образца системы используется измерительный микрофон с капсюлем M101, обеспечивающий номинальный уровень чувствительности на частоте 300 Гц относительно 1 В·Па –  $26 \pm \text{дБ}$ .

Места установки датчиков при замерах кинематической погрешности и угловых вибраций определяются участком исследуемой кинематической цепи привода. Датчики монтируются на специальных кронштейнах, обеспечивающих надежное крепление корпуса датчика.

Программное обеспечение производит широкий набор видов преобразования исходных виброакустических сигналов по классическим и новым оригинальным алгоритмам, что позволяет получать по данным одного измерения качественную информацию для диагностики и мониторинга технического состояния зубчатого привода.

Для проведения работ по проведению экспериментальных работ был подготовлен объект – коробка передач универсального токарного станка СН-401/501 из парка станочного оборудования БрГТУ (рис.2) и разработана методика мониторинга технического состояния с использованием аппаратно-программного комплекса.

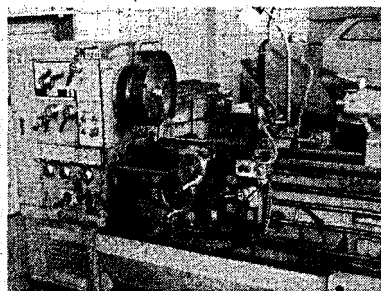


Рисунок 2 – Универсальный токарный станок СН-401

Для проверки методики оценки зубчатых приводов и компьютерной системы с учетом результатов проведены эксперименты, предусматривающие моделирование различных

отклонений отдельных зубчатых колес от нормального состояния и проверку виброакустического сигнала с применением диагностических признаков, известных из литературных источников и установленных в ходе выполнения самостоятельных исследований.

Для решения данной задачи изготовлены следующие экспериментальные зубчатые колеса для их использования в составе коробки передач универсального токарного станка СН-401:

- шестерня с систематической погрешностью профиля, смоделированной путем радиального смещения долбяка в процессе изготовления;
- шестерня нанесенным локальным дефектом рабочей части вершины профиля одного зуба;
- шестерня с локальным дефектом в виде отсутствия одного зуба.

В соответствии с программой экспериментальных работ по измерению виброакустических и кинематических характеристик зубчатых передач в составе многовалных приводов проведены замеры виброакустических параметров на различных режимах. Замеры производились на всех передачах. Результаты, полученные при использовании серийных колес, приняты в качестве эталонных.

Отмеченные смоделированные погрешности привели к соответствующим изменениям виброакустических характеристик (рис.3).

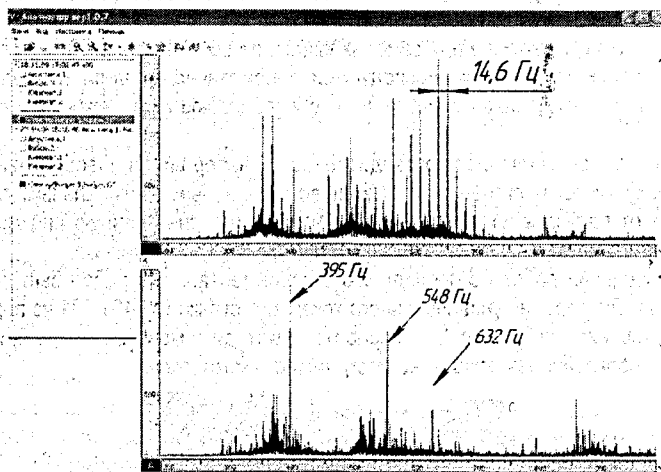


Рисунок 3 – Спектры виброускорений на корпусе коробки передач с погрешностью профиля и исправной шестерни при частоте вращения шпинделя 400 мин.

Наличие погрешности профиля привело к возникновению на спектре (частота вращения шпинделя 400 мин<sup>-1</sup>) новых частот с относительно высокими амплитудами. Так, на спектре с исправными шестернями можно выделить частоты 395, 548 и 632 Гц, что соответствует частотам пересопрежения зубьев при передаче вращения с 1-го на 2-ой, с 3-го на 4-ой и с 4-го на 6-ой валы. Комбинированные частоты на боковых полосах отсутствуют, либо их амплитуды намного ниже отмеченных.

На спектре привода с дефектной шестерней наряду с отмеченными частотами зафиксирован рост комбинированных составляющих, отстоящих друг от друга на 14,6 Гц, 212

что является частотой вращения 2-го вала, на котором установлена дефектная шестерня. Данное явление, являющееся диагностическим признаком данного вида дефекта, проявляется и в других сигналах, например, угловых колебаний.

Применение функции синхронного накопления [2, стр. 34] позволило исследовать взаимосвязь степени дефекта и количественного изменения величины отклика в вибрационном сигнале. Установлено, что наиболее явно проявление степени дефекта отражает характеристика, получаемая при дифференцировании сигнала виброускренений, что отражено на данном слайде. Если при отсутствии дефекта на характеристике какие-либо всплески сигнала отсутствуют, то при отсутствии части зуба всплеск за один оборот не вызывает сомнений, а при отсутствии целого зуба размах характеристики увеличивается более чем на 200% (рис.4).

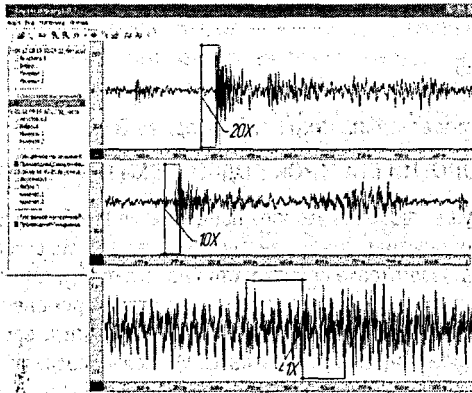


Рисунок 4 – Вибрационный сигнал, создаваемый элементами вала с колесом без зуба, без части зуба и без дефекта

Данные дефекты нашли отображение в других характеристиках.

На основании проведенной работы можно сделать некоторые выводы:

1. Произведён анализ вибрационных процессов при различных режимах работы оборудования; выявлены основные источники возникновения вибрации, в результате чего можно обоснованно считать, что вибрационный сигнал вполне обоснованно может считаться ценным и достоверным источником информации о состоянии многовального зубчатого привода.

2. Разработана, изготовлена и апробирована специальная оснастка, позволяющая исследовать угловые перемещения зубчатого привода при различных частотах работы привода. В ходе эксперимента доказана достоверность полученных с её использованием результатов измерения виброакустического сигнала.

3. Применение компьютерной системы и методики при выявлении ряда смоделированных распределенных и локальных дефектов зубчатых колес в составе многовального привода показало возможность и пригодность их использования при проведении безразборной диагностики и мониторинга технического состояния зубчатых приводов различной сложности. Дальнейшие работы в рамках данной НИР будут направлены на доведение полученных результатов до инженерного уровня, позволяющего внедрить и

применять их в производственных условиях на предприятиях, занимающихся производством и эксплуатацией зубчатых передач и приводов.

В целом проведенные исследования и полученные результаты подтверждают большую перспективность развития методов и средств контроля состояния поверхности контактирующих зубчатых пар по виброакустическим параметрам.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Драган, А.В. Диагностика зубчатых передач и механизмов по кинематическим и вибрационным критериям // Вестник БрГТУ: – 2001. – №4. – С. 2-6.

2. Проведение экспериментальной проверки методики оценки качества зубчатых передач и приводов на их основе различной сложности и апробация разработанной компьютерной системы: отчет о НИР №ГБ06/615 (промежуточный) / Брестский государственный технический университет; руководитель работы А.В. Драган; № госрегистрации 20062631. – Брест, 2000. – 48 с.

УДК 621.7:331.103.255

*Рачковская Д.С.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Григорьев В.Ф.*

### ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Для успешного существования любого предприятия необходимо постоянное обновление выпускаемой продукции, совершенствование ее эстетического дизайна и эргономических параметров. Подготовка производства нового продукта – трудоемкий и дорогостоящий процесс. В последнее время актуальным стало применение технологий быстрой подготовки производства (ТБПП), позволяющих сократить время выхода продукта на рынок и снизить производственные затраты. Их можно разделить на три группы: быстрое прототипирование – Rapid Prototyping, изготовление «быстрой» оснастки – Rapid Tooling и точное литье. Область применения ТБПП – производство малых серий и опытных партий изделия для проведения различных испытаний и маркетинговых исследований (таблица 1).

Таблица 1 – Технологии быстрой подготовки производства

Технология	Время выполнения работ, дни	Область применения
3D-печать	0,5-2	Прототипы, функциональные модели, мастер-модели
Эластичные силиконовые формы	1-2	Функциональные модели; небольшие партии пластмассовых деталей (20-50 шт.); модели из воска для литья металлических деталей
Пресс-формы из металлополимерной композиции	7-12	Серийное производство выплавляемых моделей, деталей из пластмасс (до 5000 шт.)
Штампы из легкоплавких МСР-сплавов	1-3	Опытные образцы из листовых металлов (20-50 шт.)
Напыляемые формы	3-5	Прототипы и небольшие партии деталей (до 2000 шт.)
Выплавляемые стержни из МСР-сплавов	20-25	Пластмассовые детали со сложной внутренней поверхностью
Литье в вакууме по выплавляемым и выжигаемым моделям	3-5	Прототипы и небольшие партии деталей из цветных сплавов

На СП ОАО «Брестгазоаппарат» уже 5 лет используют технологию изготовления «быстрой оснастки» – литье штампов из легкоплавкого МСР-сплава. Это простой и быстрый способ изготовления штампов для формовки листовых металлов. Разработчиком технологии и поставщиком оборудования и материалов является фирма МСР НЕК GmbH.

Преимущества технологии: возможность изготовления штампа в кратчайшие сроки (1-3 дня); экономия электроэнергии, недорогие мастер-модели; высокая точность размеров; отсутствие финишной обработки; минимальные отходы. Недостатки технологии: высокие первоначальные затраты на приобретение оборудования и материалов, невысокая стойкость штампов (20-50 циклов).

Для литья штампов используют МСР 137 – сплав на базе висмута (53%) и олова (47%). Температура плавления сплава 138°C. Усадка сплава через час после отливки – 0,06%. Сплав экологически чистый. Недостатки МСР 137: склонность к образованию волнистости на поверхности отливки, взаимодействие с цветными металлами.

В качестве примера рассмотрим изготовление штампа для корпуса плиты газовой бытовой туристской модели 802 (рисунок 1).

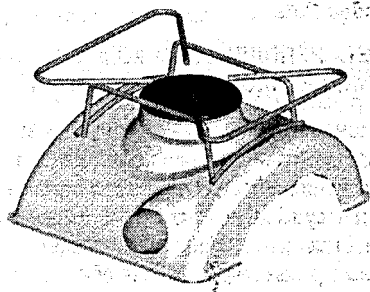


Рисунок 1 – Плита газовая бытовая туристская модели 802

На начальном этапе в системе Pro/ENGINEER разрабатываются компьютерные 3D-модели детали, матрицы и пуансона штампа. Фрезерованием изготавливают пластиковую модель корпуса.

В зоне заливки сплава устанавливают стальную плиту. Модель пуансона и прижим устанавливают в обрамление и фиксируют к нижней плите. Из формочной смеси изготавливается реплика. Плавка металла осуществляется в плавильном тигле МТ 3000, заливка сплава производится при  $t = 141^{\circ}\text{C}$ . Для обеспечения зазора между пуансоном и матрицей поверхность пуансона и прижима оклеивают восковыми пластинами. Температура плавления пластин 150°C. При тех же условиях производится заливка матрицы штампа.

Температура плавления пластин 150°C. При тех же условиях производится заливка матрицы штампа.

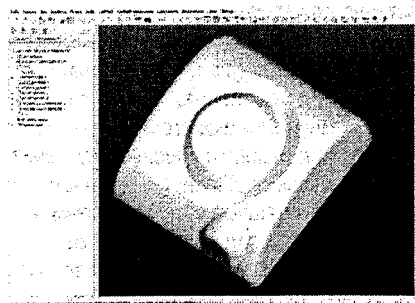


Рисунок 2 – Компьютерная трехмерная модель пуансона штампа

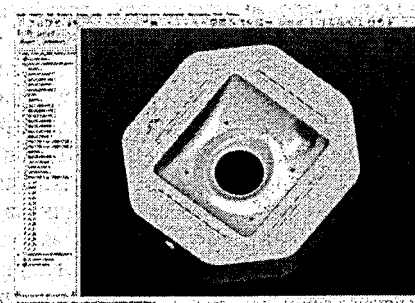


Рисунок 3 – Компьютерная трехмерная модель матрицы штампа

Разборка обрaмления производится после охлаждения отливки до  $t = 40-50^{\circ}\text{C}$ . Готовый штамп направляется в прессовый цех. После использования штамп переплавляется. Сплав МСР 137 может использоваться повторно неограниченное число раз.

Помимо данной детали, литьем МСР-сплава были получены опытные образцы стола и нижней панели плиты мод. 6100, стенки боковые муфеля духовки встраиваемой мод. ДА 602 и др.

Применение технологии литья штампов из МСР-сплава позволяет предприятию вдвое сокращать сроки «выхода» нового изделия на рынок и экономить до 40% средств по сравнению с традиционными методами изготовления штампов.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Материалы фирмы МСР НЕК GmbH.

УДК 621.91.002

*Рожков Ю.В.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Медведев О.А.*

#### ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕПОДВИЖНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МЕТОДОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Наиболее широкое применение в машиностроении получила разновидность метода регулирования, основанная на быстром ступенчатом изменении одного из составляющих звеньев сборочной конструкторской размерной цепи, называемого неподвижным компенсатором. Этим изменением компенсируется суммарное отклонение остальных составляющих звеньев, приводящее к выходу замыкающего звена цепи за пределы его допуска. Величина компенсатора для определенного экземпляра изделия обычно определяется измерением зазора, возникающего во время предварительной сборки изделия без компенсатора и с эталоном на месте замыкающего звена. Число тонких компенсаторов (прокладок), нужное для окончательной сборки этого изделия определяется делением результата измерения на размер одного компенсатора. Если не использовать ни одной прокладки, можно компенсировать за счет допуска замыкающего звена лишь часть суммарного допуска составляющих звеньев; в идеале равную допуску замыкающего звена, при условии, что эти поля допусков частично совмещены, путем корректировки номинала одного из составляющих звеньев. При использовании одной прокладки можно компенсировать за счет допуска замыкающего звена, еще такую же часть суммарного допуска составляющих звеньев, примыкающую к первой, и так далее. В идеале степень компенсации (толщина одной прокладки) равна допуску замыкающего звена, а максимально необходимое число компенсаторов на единицу меньше отношения суммарного допуска составляющих звеньев к допуску замыкающего звена. В действительности степень компенсаций должна быть меньше из-за наличия погрешностей изготовления компенсаторов и погрешности определения требуемого размера компенсатора.

Анализ способов расчета размерных цепей, используемых при достижении точности сборки методом регулирования и описанных в технической и учебной литературе [1, 2, 3 и др.], позволил выявить их существенные недостатки:

- не выявляются рациональные схемы определения величины компенсации с целью минимизации числа компенсаторов;



- в величину компенсации кроме допусков составляющих звеньев конструкторской размерной цепи включаются погрешности технологической оснастки, которые не формируют поле рассеивания местоположения компенсатора при окончательной сборке и не могут компенсироваться выбором компенсатора, так как влияют на этот выбор и могут иметь разные значения при сборке одного изделия. Такой подход ведет к неоправданному завышению величины компенсации и числа компенсаторов;

- допуск компенсатора назначается без учета других погрешностей формирования его размера, и, следовательно, не гарантируется точность сборки при рассчитанных параметрах компенсаторов;

- при использовании тонких прокладок не учитывается то, что допуск набора из нескольких прокладок больше допуска одной прокладки;

- традиционные методики определения параметров компенсаторов основаны на расчете размерных цепей методом максимума-минимума. Разработка и применение теоретико-вероятностного способа расчета компенсаторов позволят сократить число требуемых компенсаторов, снизить требования к точности изготовления компенсаторов и применяемой сборочной оснастки, при допустимой доле бракованных изделий.

С учетом сказанного можно сделать вывод о недостаточной надежности используемых методик и необходимости их уточнения, что позволит обосновать требования к точности сборочных работ и оснастки, а также к комплекту компенсаторов.

В основе предлагаемой методики лежат схемы компенсации суммарного допуска составляющих звеньев конструкторской сборочной размерной цепи, описанные в [4] и представляющие собой сочетание конструкторской и технологической сборочных размерных цепей. Реальная конструкторская цепь представлена в схеме компенсации математически тождественной трехзвенной цепью, состоящей из суммарного составляющего звена  $A_z$ , компенсатора  $K$  и замыкающего звена  $A_d$ . Суммарное составляющее звено является алгебраической суммой всех увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев реальной цепи (кроме компенсатора), а его допуск  $TA_z$  равен арифметической сумме допусков составляющих звеньев (кроме компенсатора). При этом все многообразие реальных конструкторских цепей может быть сведено к трем вариантам математически тождественных трехзвенных цепей, отличающихся по влиянию компенсатора на замыкающее звено (уменьшающий или увеличивающий компенсатор), и по расположению увеличивающего компенсатор в одной ветви цепи с суммарным составляющим звеном или в разных ветвях. В схеме компенсации каждое звено трехзвенной цепи представлено его предельными размерами и полем допуска.

Технологическая сборочная размерная цепь формируется на этапе предварительной сборки изделия, когда определяется требуемый размер компенсатора. Замыкающим звеном в ней является местоположение компенсатора, а составляющими звеньями, кроме размеров деталей изделия, также являются размеры используемой сборочной оснастки и погрешности выполнения сборочных работ. При окончательной сборке изделия из комплектующих деталей и выбранного компенсатора отклонение замыкающего звена конструкторской цепи от эталона будет равно отклонению размера выбранного компенсатора от размера его местоположения. Это отклонение складывается из отклонений тех звеньев технологической цепи, которые при предварительной сборке конкретного изделия могут приобретать случайные значения, отличающиеся от их значений в конструкторской цепи (погрешность изготовления эталона среднего значения замыкаю-

щего звена  $\varepsilon_s$ , погрешность установки эталона  $\varepsilon_{yo}$ , погрешность измерения местоположения компенсатора  $\varepsilon_{\Delta}$ , погрешность изготовления компенсаторов  $TK$ , погрешность выбора компенсатора  $\varepsilon_s$ ). Погрешности таких звеньев могут быть компенсированы только за счет допуска замыкающего звена конструкторской цепи, а не выбором компенсатора. Технологическая цепь представлена в схеме компенсации указанными погрешностями, которые в сумме не должны превышать допуск замыкающего звена конструкторской цепи  $TA_{\Delta}$ . При допущении о симметричном распределении суммарной погрешности совмещаем середину ее поля рассеяния с серединой поля допуска замыкающего звена конструкторской цепи. На схемах сумма  $\varepsilon_s, \varepsilon_{yo}, \varepsilon_{\Delta}$  обозначена как погрешность формирования размера компенсатора  $\varepsilon_{pk}$ .

Для уменьшения требуемого числа компенсаторов целесообразно обеспечить частичное перекрытие  $TA_{\Delta}$  и  $TA_{\Sigma}$ . Это всегда можно сделать путем корректировки положения поля допуска хотя бы одного из составляющих звеньев конструкторской цепи. При этом число компенсаторов в комплекте на одно изделие будет на единицу меньше числа ступеней компенсации. Для того чтобы набор компенсаторов при любом их числе оставался уменьшающим или увеличивающим, надо середину  $TA_{\Delta}$  совместить с серединой первой ступени компенсации.

Так как ступень компенсации равна средней толщине одного компенсатора (обычно не менее 0,1 мм), то эта толщина, наряду с погрешностями сборочной оснастки и допуском изготовления компенсаторов, определяет точность сборки.

При одинаковых прочих погрешностях допуск тонкого компенсатора должен быть значительно жестче допуска компенсаторов разной длины, так как набор из  $N-1$  тонкого компенсатора, необходимый для компенсации отклонений  $A_{\Sigma}$  в пределах  $N$ -ой ступени компенсации, должен иметь суммарный допуск  $(N-1)TK$ , равный допуску одного компенсатора из комплекта компенсаторов разной длины.

Схемы компенсации, учитывающие эти особенности, приведены на рис.1 и 2 для уменьшающего и увеличивающего компенсатора, соответственно.

Увязка предельных размеров суммарного составляющего звена с полем допуска замыкающего звена конструкторской цепи производится по следующим уравнениям:

Для уменьшающего компенсатора

$$A_{\Sigma \min} = A_{\Delta cp} - c/2 \quad (1)$$

Для увеличивающего компенсатора

$$A_{\Sigma \max} = A_{\Delta cp} + c/2 \quad (2)$$

Если использовать в качестве основы расчета точности компенсаторов и сборочной оснастки метод максимума-минимума, то условие достижения точности сборки при любом (в пределах  $N-1$ ) числе компенсаторов в наборе примет вид [4]

$$TA_{\Delta} \geq \varepsilon_{pk} + c + (N-1) \cdot TK \quad (3)$$

Максимальное значение погрешности выбора набора компенсаторов равно ступени компенсации  $c$ . С такой погрешностью измеренное значение компенсатора воспроизводится на выбранном наборе прокладок в самом неблагоприятном случае. Для сокращения числа компенсаторов в комплекте следует принять максимально допустимое значение  $c$ , при котором условие (1) превращается в равенство.

Значение допусков составляющих звеньев конструкторской и технологической цепей следует выбирать так, чтобы значение  $N$  получалось целым.

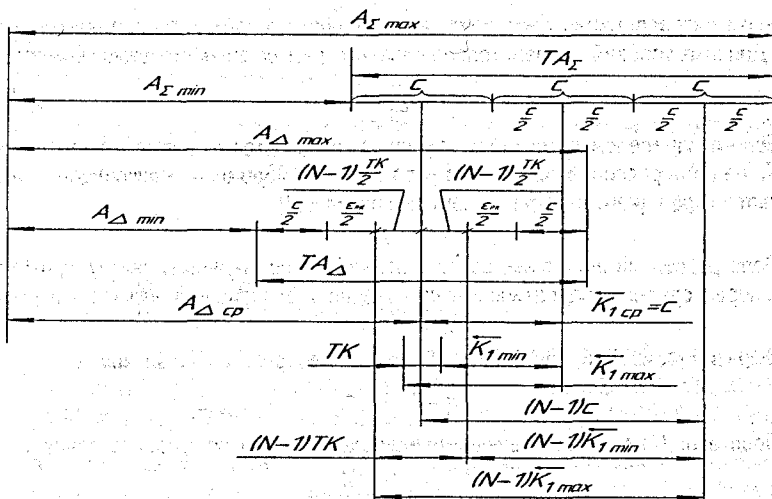


Рисунок 1 – Схема компенсации допусков составляющих звеньев регулированием комплектом одинаковых тонких уменьшающих компенсаторов

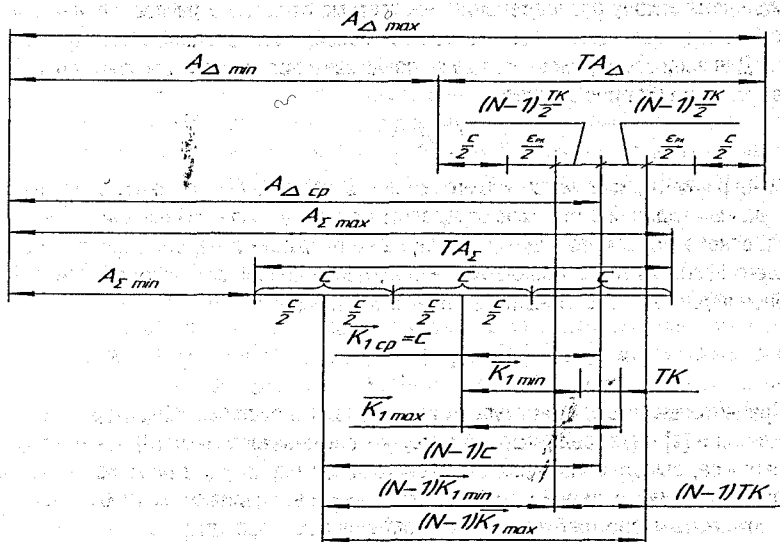


Рисунок 2 – Схема компенсации допусков составляющих звеньев регулированием комплектом одинаковых тонких увеличивающих компенсаторов

Для составления условия достижения точности замыкающего звена на основе теоретико-вероятностного подхода будем считать звенья технологической размерной цепи случайными величинами. Из теории вероятностей известно, что дисперсия суммарной случайной величины равна сумме дисперсий слагаемых случайных величин. При нор-

мальном распределении дисперсия равна квадрату среднего квадратического отклонения. Для этих условий применительно к звеньям размерной цепи можно записать

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sum_{j=1}^{n+m} \sigma_j^2 \quad (4)$$

Если распределение случайной величины отличается от нормального, то для сравнения ее поля рассеяния  $\omega$  с полем рассеяния при нормальном распределении  $\omega_n$  применяют коэффициент относительного рассеяния  $K$  [1]

$$K = \omega_n / \omega \quad (5)$$

Поле рассеяния величины, распределенной по нормальному закону, принято выражать через среднее квадратическое отклонение и коэффициент риска  $t$  по формуле [1]

$$\omega_n = 2 \cdot t \cdot \sigma \quad (6)$$

Выразим  $\omega_n$  из (5) и, подставив в (6), после преобразований получим

$$\sigma = \frac{K \cdot \omega}{2 \cdot t} \quad (7)$$

Подставив (7) с соответствующими индексами в (4) после преобразований получим

$$\frac{K_{\Delta}^2}{t_{\Delta}^2} \cdot \omega_{\Delta}^2 = \sum_{j=1}^{n+m} \frac{K_j^2}{t_j^2} \cdot \omega_j^2 \quad (8)$$

Из теории вероятностей известно, что суммарная случайная величина подчиняется нормальному закону распределения независимо от законов распределения слагаемых случайных величин, если число слагаемых больше или равно 4. Поэтому принимаем  $K_{\Delta} = 1$ . Для всех составляющих звеньев принимаем полное поле рассеяния при  $t_j = 3$ . Тогда выражение (8) преобразуется

$$\omega_{\Delta}^2 = t_{\Delta}^2 \cdot \sum_{j=1}^{n+m} \lambda_j^2 \cdot \omega_j^2 \quad (9)$$

Коэффициент риска замыкающего звена  $t_{\Delta}$  в формуле (9) учитывает допустимую долю бракованных изделий. Его можно определить по таблице значений функции Лапласа  $\Phi(t_{\Delta})$ .

На основе (9), заменив  $\omega_{\Delta}$  на  $TA_{\Delta}$ ,  $\omega_j$  на погрешности определяющие точность замыкающего звена из (3), и приняв  $N = TA_{\Sigma} / c$ , после преобразований получим кубическое уравнение для расчета значения ступени компенсации  $c$

$$\lambda_c^2 \cdot c^3 + \left[ \lambda_{pk}^2 \cdot \varepsilon_{pk}^2 - \left( \frac{TA_{\Delta}}{t_{\Delta}} \right)^2 - \lambda_x^2 \cdot TK^2 \right] \cdot c + TA_{\Sigma} \cdot \lambda_x^2 \cdot TK^2 = 0 \quad (10)$$

Сравнительные расчеты ступени компенсации и числа компенсаторов по методике описанной в [4] и по предлагаемой методике с использованием (10) при помощи пакета Mathematica, выполненные для размерных цепей плунжерных насосов, червячных редукторов и других изделий показали, что, рискуя 3 изделиями из 1000, можно, в среднем, сократить число требуемых компенсаторов в полтора раза.

Таким образом, предлагаемая методика теоретико-вероятностного расчета компенсаторов позволяет избежать необоснованно высоких требований к точности сборочной оснастки, обоснованно сократить число компенсаторов в комплекте на одно изделие и сократить себестоимость сборки.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Палей, М.А. Допуски и посадки: справочник в 2 ч. / М.А. Палей [и др.]. – СПб.: Политехника, 2001. – Ч.2. – 608 с.

2. Проектирование технологических процессов сборки машин: учебник / Под общ. ред. А.А. Жолобова. – Мн.: Новое знание, 2005. – 410 с.

3. Технология машиностроения (специальная часть): учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.

4. Выбор технологической оснастки для достижения точности сборки методом регулирования неподвижных компенсаторов / О.А. Медведев, П.Н. Ковальчук // Вестник брестского государственного технического университета. – Брест, 2008. – № 4(52): Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. – С. 40-44.

УДК 624.012

*Страпко И.В., Кот Н.Н., Видничук А.Н.*

*Научный руководитель: ассистент Желткович А.Е.*

## **К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОГО ПРОЛЁТА БЕТОННОГО ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ, РАБОТАЮЩЕГО БЕЗ ВЫГИБА, ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОСНОВАНИЕМ, И ПОДВЕРЖЕННОГО ВЫНУЖДЕННЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ РАСШИРЕНИЯ**

### **Влияние положения ограничивающих связей в пределах бетонного сечения**

В теории самонапряженного железобетона на протяжении ряда лет наиболее дискуссионным вопросом являлся вопрос о распределении самонапряжения по сечению конструкции при изменении положения ограничивающей связи относительно центра тяжести бетонного сечения. На основании исследований [2, 3] с позиции энергетической теории расширения, изложенной в [4], принято считать, что независимо от расположения в сечении ограничивающих связей, самонапряжение по сечению распределено равномерно. Исходя из этого, мультипликативная модель для расчета самонапряжения в конструкции, описанная формулой (2.1) [5], построена с использованием гипотезы о равномерном распределении самонапряжения по сечению. Отклонения ограничивающей связи от осевого положения принято учитывать при помощи корректирующего коэффициента  $k_e$  (см. табл. 2.1) [5].

В исследовании [2, 3] наблюдали тенденцию к выравниванию усилий в верхнем и нижнем армировании при несимметричном расположении арматуры в сечении.

Несоответствие опытным данным (см. раздел 2.3.1) [5], наблюдается при оценке деформированного состояния конструкции, в случае одиночного армирования сечения. Экспериментально установлено [6, 7, 8, 9], что в односторонне армированных конструкциях при расширении наблюдаются значительные выгибы и даже появление трещин на неармированной грани (при использовании активных напрягающих бетонов). Такой характер деформирования указывает на явно неравномерное распределение самонапряжения в бетоне (трапецевидную и даже двузначную эпюру).

Как следует из результатов исследований, представленных в работах, гипотеза о равномерном распределении самонапряжения справедлива для элементов с малыми эксцентриситетами и практически полностью неприемлема для элементов с односторонним положением ограничивающей связи, при моделировании работы железобетонных конструкций.

В работе [10] акцентируется внимание на раздельном характере деформирования дорожного полотна относительно основания, причём распределение деформаций по высоте сечения плиты принимается равномерным, вертикальные деформации (выгибы) плиты не рассматриваются.

В работе [11] указывается, что при действии силы в сечении конструкции, приложенной с эксцентриситетом, конструкция будет выгибаться, если её не скомпенсирует другая сила (собственный вес, пригруз). При рассмотрении вопроса о взаимодействии системы «плита – основание» проблема распределения деформаций по высоте сечения становится актуальной и требует положительного решения.

### Теоретические основы расчёта возможных вертикальных перемещений в плитах

Расчёт выполним энергетическим способом [11]. Вычислим работу по подъёму плиты от силы, действующей с эксцентриситетом  $e$ , (см. рис. 1) относительно нейтральной оси, приложенной к подошве плиты. При этом зададимся очертанием изогнутой оси деформированной плиты в виде синусоиды  $y(x) = f_0 \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{l}$ , которая хорошо описывает прогибы шарнирно опертой плиты при действии равномерно распределённой нагрузки [12]. На перемещениях  $y$ , положительную работу совершают силы собственного веса плиты.

$$A_1 = q_{c.occ} \cdot \int_0^l y(x) dx = q_{c.occ} \cdot \int_0^l \sin \left( \frac{\pi \cdot x}{l} \right) dx = -q_{c.occ} \cdot \frac{f_0 \cdot l}{\pi} \cdot \left( \cos \left( \frac{\pi \cdot x}{l} \right) \right) \Big|_0^l = q_{c.occ} \cdot \frac{2 \cdot f_0 \cdot l}{\pi} \quad (1)$$

где  $f_0$  – предполагаемый выгиб плиты,  $\varphi$  – угол поворота участка плиты (депланация сечения),  $q_{c.occ}$  – полная нагрузка от собственного веса,  $e$  – эксцентриситет силы,  $u$  – перемещение концевой участка плиты,  $\tau(u)$  – касательные напряжения.

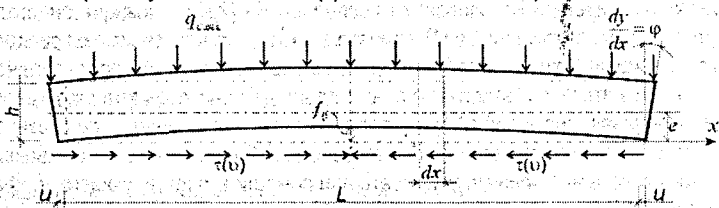


Рисунок 1 – Силы, действующие в плите

Работу (отрицательную) так же совершает внутренний изгибающий момент (силы, приложенной с эксцентриситетом) на деформациях изгиба плиты, вызванной перемещениями плиты по основанию при расширении или усадке бетона плиты.

$$A_2 = \frac{B}{2} \cdot \int_0^l \left( \frac{d^2 y}{dx^2} \right)^2 dx = \frac{B}{2} \cdot \frac{f_0^2 \cdot \pi^4}{l^4} \cdot \int_0^l \sin^2 \left( \frac{\pi \cdot x}{l} \right) dx = \frac{B}{2} \cdot \frac{f_0^2 \cdot \pi^4}{2 \cdot l^3} \quad (2)$$

Изгибная жёсткость плиты определена по формуле:

$$B = \frac{ML^2}{\pi^2 f_0} = \frac{q_{c.occ} \cdot l^4}{8\pi^2 f_0}, \text{ где } M = T \cdot e; \text{ а } T = \tau(u) \cdot \frac{L}{2} \quad (3)$$

Составляя выражение баланса работ  $A_1 = A_2$ , получаем линейное уравнение относительно величины  $q_{c.occ}$  – собственного веса плиты, требуемой для компенсации выгиба. Плита не реализует выгиб, если работа сил сцепления и трения по подошве плиты будет меньше работы сил собственного веса плиты.

$$q_{c.occ} \geq \frac{\tau(u) \cdot e \cdot \pi^2}{8L \left( \frac{\pi^2}{32} + \frac{2}{\pi} \right)} \quad (4)$$

Принимая во внимание, что эксцентриситет равен половине высоты плиты  $e = \frac{h}{2}$ , выражение (4) удобнее представить через определение  $L_{\min}$  – минимально возможной длины плиты, для которой градиента напряжений (неравномерного распределения напряжений по высоте сечения) будет недостаточно, чтоб реализовался выгиб. Запишем его в зависимости от  $\tau(u)$  – величины касательных напряжений, действующих по контакту плиты.

$$L_{\min} \geq \frac{\tau(u) \cdot 2 \cdot \pi^3}{\rho_{\text{бет}} \cdot (\pi^3 + 64)} \quad (5)$$

Так как  $\tau(u) = \tau(u)^* + \tau_{\text{трения}}$ , где  $\tau_{\text{трения}} = \rho_{\text{бет}} \cdot h \cdot \mu$ , выражение (5) окончательно примет вид:

$$L_{\min} \geq \frac{(\tau(u)^* + \rho_{\text{бет}} h \mu) \cdot 2 \cdot \pi^3}{\rho_{\text{бет}} \cdot (\pi^3 + 64)} \quad (6)$$

Т.о., получим ряд значений  $L_{\min}$  для различных типов оснований, (см. табл. 1).

Таблица 1 – Минимально возможная длина плиты без выгиба

Тип основания	Минимально возможная длина плиты без выгиба, $L_{\min}$ [м]
Бетон	6,53
Песок	0,25
Щебень	0,47

Как видно, при устройстве плиты на бетонном «жестком» основании требуются значительные размеры самой плиты для компенсации сил сцепления и трения, возникающих на подошве. Это требует организации дополнительных мер, например, устройства рабочей арматуры в верхней части сечения плиты.

С целью выявления действительного характера распределения деформаций по высоте сечения плиты, устроенной на «жестком», бетонном основании, были запланированы и проведены экспериментальные исследования образцов плит.

### Экспериментальные исследования

Изготовления опытных образцов было выполнено с использованием специальных деревянных опалубочных форм. Основание перед установкой опалубки для плит промывалось проточной водой и очищалось от пыли.

Выгибы (вертикальные деформации) измерялись индикаторами часового типа ИЧ-100, размещёнными на штативах. Фиксация вертикальных деформаций центра плиты производилась при помощи видеокамеры с передачей изображения на компьютер.

Для определения вертикальной составляющей деформации (выгиба), посередине полёта плиты устанавливается штатив с индикатором (см. рис. 4), шток которого опирается на репер устроенный в середине плиты. Показания индикатора фиксируются видеокамерой (см. рис. 4), с частотой съёмки 1 к/с, на протяжении нескольких суток непрерывно.

Таблица 2 – Краткая программа экспериментальных исследований

Серия	Обозначение плит	Сечение		Энергоактивность напрягающего бетона, Н/мм <sup>2</sup>	Основание	Услов. хранения	Кол. во, шт.
		bxhxl, см	Аб, см <sup>2</sup>				
1	П-I	3x20x2000	60	0,6	бетон	влажное, под плёнкой	1
2	П-III	3x20x2000	60	3,0	бетон	влажное, под плёнкой	1

Устройство – самописец было сконструировано для выявления кинетики деформирования плиты с возможностью фиксации момента проскальзывания края плиты и величины деформации сдвига. В одном торце плиты устанавливался индикатор на штативе, см. рис. 2, а в другом – самописец.

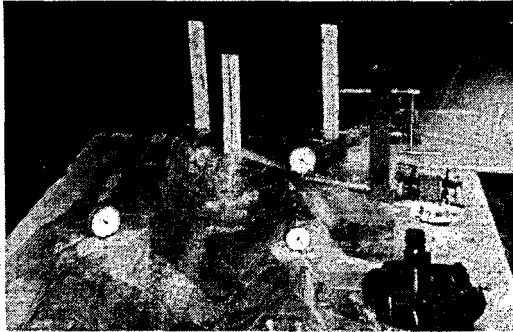


Рисунок 1 – Общий вид испытаний плит (момент ожидания выгиба и проскальзывания края плиты)

### Анализ экспериментальных исследований

Графики распределения вертикальных перемещений, зарегистрированных в результате испытаний, показаны на рис. 3, рис. 5, горизонтальных – на рис. 4, рис. 6. Для серии № 2 конечные измерения деформаций производились в возрасте 10 суток.

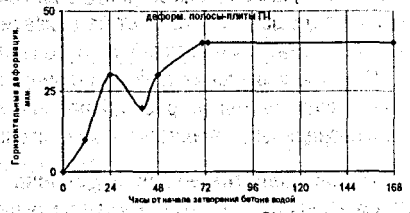
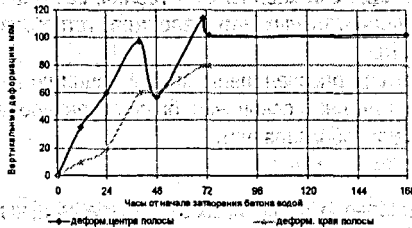


Рисунок 1 – Вертикальные деформации центра и края плиты (П-I) серии №1

Рисунок 1 – Горизонтальные деформации для плиты (П-I) серии №1

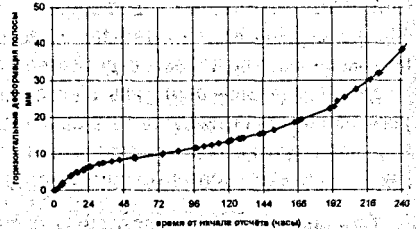
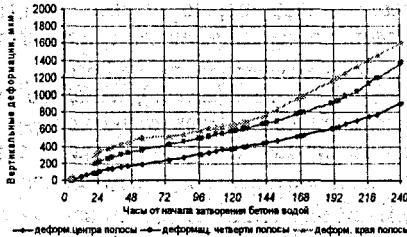


Рисунок 1 – Вертикальные деформации разных участков плиты (П-III) серии №2

Рисунок 1 – Горизонтальные деформации плиты (П-III)

### Заключение

1. В опытах серии № 1 показания индикатора, снимающего вертикальные перемещения плиты в центре, превышали аналогичные значения на краях плиты, но эта разница



вполне объяснима температурными колебаниями среды. Анализируя график развития горизонтальных перемещений, см. рис. 4, зафиксирован аналогичный характер динамики деформирования на данный момент времени, например, на 48 час. В опыте серии № 2, где был использован более активный бетон, показания вертикальных перемещений плиты П-III, в центре плиты, были значительно меньше аналогичных перемещений в четверти полосы, и на концевом участке, что говорит об отсутствии каких-либо указаний на выгиб.

2. В момент предполагаемого выгиба при нарушении сцепления бетона с основанием (у края плиты, из-за стремительного сокращения площади взаимодействия плиты с основанием), ожидалось возвращение плиты в прежнее положение. Видеоприборы должны были зафиксировать выгиб, а после – падение показаний на индикаторе № 3, снимающем вертикальные перемещения, а чернильная ручка на самописце № 1 в этот момент отчертила бы отличающийся след на миллиметровой бумаге, так называемый след смещения от вертикальной составляющей перемещений, но это явление не было отмечено ни в одном из экспериментов. Вместе с тем не было зафиксировано и характерного выгиба. Таким образом, при расширении плиты на «жестком», бетонном основании возникающую связь на контакте можно рассматривать как силу, действующую в определенном, самый короткий момент времени, но не способную реализовать выгиб. Это можно объяснить тем, что в процессе расширения, на концевых участках, накапливается значительная потенциальная энергия деформации, которая реализуется в сдвиге концевого участка гораздо раньше (и выравнивает градиент деформаций по высоте сечения), чем плита успевает набрать достаточную жесткость, чтобы реализовать выгиб.

3. Можно сделать вывод, что момента от силы сдвига в контакте (при устройстве плиты без упоров, нагелей) недостаточно для того, чтобы в плите были преодолены вертикальные силы сцепления с основанием (адгезионные). После сдвига концевого участка идёт стремительное развитие трещины в контакте между плитой и основанием, приближая фронт трещины к центру плиты, тем самым разрушая адгезионные силы сцепления и нейтрализуя момент силы.

4. Как видно из результатов проведённых экспериментов, существует явное расхождение между теоретически определённым параметром  $L_{\min}$  по формуле (6) и опытными данными. Это можно объяснить тем, что в формуле (6) не учтен ряд параметров охватывающих особые свойства напрягающего бетона (формирование структуры расширяющегося бетона, кинетика набора прочности, расширение в связанных условиях). Силы трения по подошве плиты и основания при значительных горизонтальных перемещениях плиты могут изменяться теоретически вплоть до величины характеризующей коэффициентом трения двух бетонных поверхностей, в формуле же (6) значение  $\tau_2(u)$  (напряжение в контакте при сдвиге бетона по бетону) принято постоянным и равными 0,24 МПа, в соответствии с [13].

5. В качестве резюме отметим – в плитах длиной 2 м, устроенных на бетонном основании, не происходит деформации сечения, поэтому не требуется организация мероприятий по компенсации усилий от трения и сцепления. Автоматически очевидно и следующее: при устройстве плит из напрягающего бетона размерами более указанных в таблице 1, на «сыпучих» основаниях (гравий, щебень), в верхней части сечения никогда не возникнет такого состояния, при котором плита потеряет плоскостность и выгнется.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Строительные нормы и правила 2.03.13-88. Полы. – М: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 16 с.
2. Будагянц, Л.И. Исследование напрягающего цемента нормального твердения и процесса самонапряжения железобетонных конструкций: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. – М., 1980. – 160 с.
3. Будагянц, Л.И. Исследование самонапряжения изгибаемых и симметрично армированных элементов // Новые технологии и конструирование бетонных и железобетонных конструкций: Сб. тр. / Под ред. В.В. Михайлова. – Москва: НИИЖБ, 1966. – С. 41–47.
4. Михайлов, В.В. Расширяющие и напрягающие цементы и самонапряженные конструкции / В.В. Михайлов, С.Л. Литвер. – М.: Стройиздат, 1974. – 389 с.
5. Тур, В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкции при применении напрягающего бетона. – Брест: Изд. БПИ, 1998. – 244 с.
6. Будюк, В.Д. Экспериментально-статистическое моделирование самонапряжения железобетонных элементов / В.Д. Будюк, В.И. Никитин // Изв. вузов. – Т. 36, № 2. – С: 12-17.
7. Будюк, В.Д. К вопросу повышения эффективности емкостных сооружений малых объемов / В.Д. Будюк, В.В. Тур // Вопросы строительства и архитектуры: сб. тр./ Под ред. Л.К. Лукши. – Минск: Вышэйшая школа, 1986. – С. 37-41.
8. Гольшев, А.Б. Расчет предварительно напряженных сборно-монолитных неразрезных конструкций с учетом длительных процессов / А.Б. Гольшев, Г.М. Реминец, М.М. Федоренко // Железобетонные конструкции: сб. тр. / Под ред. В.П. Полищука и Б.Я. Рискинда. – Челябинск: Стройпроект, 1969. – С. 29-41.
9. Тур, В.В. Прочность, жесткость и трещиностойкость самонапряженных сборно-монолитных ребристых плит перекрытий: дисс. ... канд. техн. наук 05.23.01. – Москва, 1989. – 275 с.
10. Zhang, J. Victor. Li. Influence of supporting base characteristics on shrinkage-induced stresses in concrete pavements / J. Zhang, Li. Victor // Journal of Transportation Engineering. – 2001. – № 6. – Vol. 127.
11. Босоков, С.В. Определение величины втягивания канатов в изгибаемых преднапряженных железобетонных плитах безапалубочного формования / С.В. Босоков, В.Н. Белевич, Н.С. Щетиков // Вестник БрГТУ. – 2010. – № 1(61): Строительство и архитектура. – С. 46-50.
12. Тимошенко, С.П. Сопротивление материалов. – Москва: Наука, 1965. – 363 с.
13. Желткович, А.Е. Исследование параметров диаграмм сдвига бетона по основанию и получение аналитических зависимостей развития деформаций сдвига в зависимости от типов оснований: перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовка инженерных кадров РБ: сб. тр. XV Международ. науч.-метод. семинара: в 2-х т. / Под общ. ред. Д.Н. Лазовского, А.А. Бакатовича. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – Т. II. – 233 с.

УДК 681.7:068

*Сушков Д.А., Медведев Т.А.*

*Научные руководители: доцент Веремейчик А.И., профессор Сазонов М.И.*

### КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЛАЗМОТРОНА ДЛЯ НАГРЕВА АЗОТА

#### Введение

Плазменные потоки используются в различных практических приложениях: для изучения движения тел при входе в плотные слои атмосферы Земли и других планет, для промышленного получения различных химических веществ, которые трудно либо вообще невозможно получить; при сварке, резке и упрочнении металлов, нанесении износостойких тонких пленок на детали машин, в металлургии и многих других процессах [1-6]. Плазменные технологии относятся к разряду наиболее перспективных и в настоящее время интенсивно разрабатываются. Исследования и практика их применения показали, что плазменный источник нагрева эффективно может применяться наряду с лазерным и электронно-лучевым источниками, обеспечивая высокую эффективность процесса [1-2]. Такие источники нагрева с высокой плотностью позволяют осуществлять поверхностную закалку изделий, сущность которой заключается в фазовых и структурных

превращениях при скоростном концентрированном нагреве поверхности и теплоотводе в материал детали. В результате значительных скоростей нагрева и охлаждения получаются поверхностные слои с более высоким уровнем эксплуатационных свойств по сравнению с традиционными методами упрочнения (печная и газопламенная закалки, закалка ТВЧ и др.), т.е. осуществляется поверхностная плазменная закалка (ППЗ).

Сравнение экономических параметров трех наиболее употребляемых методов поверхностного упрочнения металлоизделий (применение лазерного и электронного лучей, сжатой плазменной струи) показывает, что экономичнее применения сжатой плазменной струи [1].

### Экспериментальная установка и методика исследований

С целью определения исходных данных для расчета и разработки плазмотронов проведены исследования напряженности электрического поля дуги, горящей в потоке азота. Условия горения дуги в потоке газа специфичны, и это требует проведения фундаментальных исследований. Характер горения определяется скоростью обтекания дуги газом. Как известно, при числе Рейнольдса  $Re < 2000$  дуга горит в ламинарном потоке газа, а при  $Re > 2000$  горение дуги реализуется в турбулентном потоке. Режимы обтекания дуги сильно влияют на процессы преобразования электрической энергии в тепловую.

Величины напряженности электрического поля вдоль дуги  $E$  определены методами изменения длины дуги и измерения потенциалов изолированных друг от друга секций разрядной камеры плазмотрона. Напряженность электрического поля дуги определялась по наклону кривой распределения потенциала вдоль оси  $z$  [4].

Установлено, что в исследованном диапазоне параметров, указанных в таблице 1, зависимость напряженности электрического поля от тока была линейно восходящей, а вдоль дуги – возрастает.

Таблица 1 – Диапазон изменения параметров при исследовании дуги в азоте

d, мм	10	20	30
a, мм	154	252	358
I, А	100-180	30-180	30-180
G, г/с	0,5-4	0,5-4	0,5-4

На рис. 1 изображена типичная зависимость напряженности электрического поля дуги от тока I.

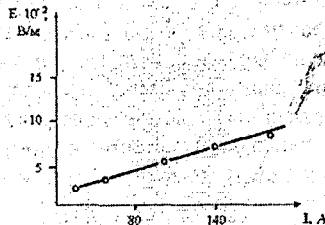


Рисунок 1 – Напряженность электрического поля дуги в потоке азота  $d = 1$  см,  $G = 4$  г/с

На основе теории подобия разработана методика расчета плазмотронов. Учитывая особенности горения дуги в азоте, обобщенную зависимость напряженности электрического поля  $E$  от определяющих критериев будем искать в виде:

$$Ed = c \left( \frac{G}{d} \right)^{\beta} (pd)^{\gamma} \left( c_0 + c_1 \frac{l}{d} \right) \cdot f \left( \frac{z}{d} \right), \quad (1)$$

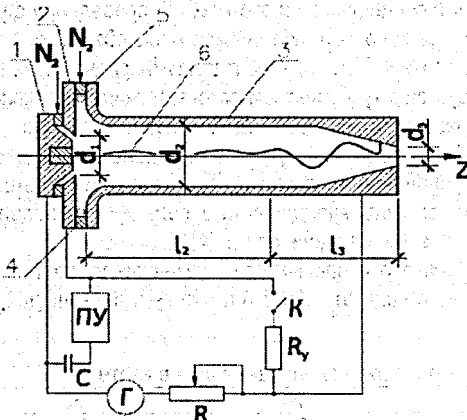
где  $c, \beta, \gamma, c_0, c_1, \gamma$  – вариационные константы;  $G$  – расход газа;  $p$  – давление газа.

Экспериментальные данные обобщаются следующей критериальной формулой:

$$Ed = 4,2 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{G}{d} \right)^{0,11} \left( 135 + 10^{-2} \frac{l}{d} \right) \cdot \left( 0,9 + 1,6 \cdot 10^{-4} \frac{z}{d} \right), \quad (2)$$

где  $G$  – расход азота,  $d$  – диаметр разрядной камеры.

На основе разработанной методики с использованием критериальной формулы для  $E$  сконструирован и создан плазмотрон, который может использоваться для получения озона, сжигания низкокалорийных топлив и твердых бытовых отходов, реализации химических процессов окисления, получения двуокиси титана и т.д. [3]. Принципиальная схема плазмотрона, его электропитания и поджига приведена на рис. 2.



1 – катод, 2 – поджигающий электрод, 3 – анод,  
4 и 5 – изоляторы, 6 – дуга

Рисунок 2 – Схема плазмотрона и электропитания

Основными элементами плазмотрона являются катод 1, поджигающий электрод 2 и ступенчатый анод 3. Катод выполнен из вольфрамового стержня длиной 20 мм, запрессованного заподлицо в медную обойму с целью его охлаждения и повышения ресурса эксплуатации. Поджигающий электрод 2 выполнен из меди в виде секции-шайбы с внутренним диаметром  $d_1 = 16$  мм. Медный анод 3 имеет диаметр  $d = 8$  мм, а его длина равна 140 мм. Катод, поджигающий электрод, и анод интенсивно охлаждаются химически очищенной водой. Для расчета тепловых потоков в электроды определяли температуру воды на входе и выходе из плазмотрона при помощи

хромель-копелевых термопар с записью показаний прибором ЭМП-109 АИ.

Давление азота перед расходомерами на входе плазмотрона составляло  $(3 \dots 6) \cdot 10^5$  Па. Расход газа измерялся приборами типа РС-3М. В зазор между катодом и поджигающим электродом через 2 тангенциальных отверстия диаметром 1,2 мм, расположенных в кольце закрутки с внутренним диаметром 50 мм, подавался аргон (расход 0,1-0,2 г/с). Во вторую камеру закрутки 4, расположенную между поджигающим электродом и анодом, аргон поступал через 4 тангенциальных отверстия диаметром 2,4 мм, расположенных в кольце закрутки с внутренним диаметром 64 мм. Суммарный расход азота варьировался от 2 до 5 г/с.

Электропитание плазмотрона осуществлялось от источника питания  $\Gamma$  с номинальным током 200 А и напряжением 600 В. Так как его внешняя электрическая характеристика жесткая, а вольт-амперная характеристика дуги падающая, в силовую цепь последовательно с дугой с целью обеспечения устойчивого ее горения включено ступенчато изменяющееся балластное сопротивление  $R$ .

Поджиг плазмотрона осуществлялся при помощи высоковольтного высокочастотного осциллятора ПУ с подачей напряжения на поджигающий электрод 2. Между поджигающим электродом и анодом через контактор включено сопротивление  $R_y = 10 - 20 \text{ Ом}$ . Такая схема включения осциллятора в электрическую цепь питания плазмотрона позволяла исключить попадание ВЧ-напряжения в силовую цепь питания и обеспечивала тем самым надежную защиту силового выпрямителя от перенапряжения.

Порядок запуска плазмотрона: устанавливают рабочий расход газа; после этого при включенном контакторе  $K$  подают напряжение от выпрямителя  $\Gamma$  и далее включается осциллятор, обеспечивающий пробой зазора (1,5 мм) между катодом и поджигающим электродом. Образовавшийся искровой канал служит основой для развития вспомогательной дуги, ток которой равен 10-15 А и регулируется изменением величины  $R_y$ . Под действием потока гелия слаботочная дуга выдувается из зазора. Катодное пятно устанавливается на графитовом стержне, анодное – перемещается к кромке электрода 2, а образующийся высокотемпературный факел снижает напряжение пробоя между катодом и анодом; существующая разность потенциалов между ними (при мощности, вложенной в вспомогательную дугу, порядка 1-2 кВт) обеспечивает пробой и поджиг основной дуги. Ток в основной цепи регулируется балластным реостатом  $R$ . Далее радиальный участок дуги потоком азота, подаваемого в основную вихревую камеру 5, сносится за уступ, а столб дуги устанавливается на оси разрядной камеры. После запуска плазмотрона сопротивление  $R_y$  отключают контактором  $K$ , а реостатом  $R$  устанавливается и стабилизируется необходимый рабочий ток силовой дуги. Запуск плазмотрона производится при токе дуги 200-300 А.

### Основные результаты

Экспериментально определены вольт-амперные характеристики дуги в вихревом потоке газа при различных расходах азота, которые приведены на рис. 3.

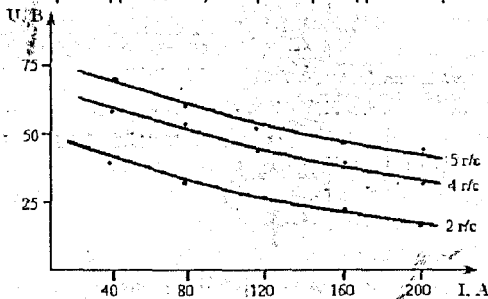


Рисунок 3 – Вольт-амперные характеристики при различных расходах рабочего газа диаметр анода  $d = 10 \text{ мм}$ , длина анода  $l = 120 \text{ мм}$

В таблице 2 приведены основные технические характеристики разработанного плазмотрона.

Разработка новой конструкции плазмотрона была проведена с целью достижения высокого ресурса работы и согласования вольт-амперных характеристик дуги с серийно выпускаемыми специальными силовыми источниками электропитания плазмотронов.

Проведены исследования энергетических характеристик плазмотрона. Одновременно с исследованием вольт-амперных характеристик дуги проводились измерения тепловых потоков в элементы плазмотрона: катод, анод и поджигающий электрод. Это позво-

лило вычислить тепловой к.п.д. плазмотрона, энтальпию и среднемассовую температуру  $T$  газа в зависимости от величины тока дуги и длины анода при различных расходах азота. Установлено, что тепловой к.п.д. равен 0,68 - 0,74, а рассчитанная температура на выходе плазмотрона равна  $T = 3700 - 7200$  К. При использовании в качестве рабочего газа азота тепловые потери в катод почти не зависят от диаметра вольфрамового стержня.

Таблица 2 – Технические характеристики плазмотрона

Мощность плазмотрона, кВт	до 30
Рабочий газ	азот
Род тока	постоянный
Ток дуги, А	до 140
Расход азота, г/с	до 3,2
Давление газа на входе в плазмотрон, Па	$5 \cdot 10^5$
Охлаждение	водяное
Тепловой к.п.д.	0,6 - 0,7
Ресурс катода, час	7
Ресурс анода, час	200
Расход воды на охлаждение, г/с	60
Габаритные размеры, мм	52x250
Масса, кг	0,9

Чертеж плазмотрона приведен на рис. 4, внешний вид – на рис. 5.

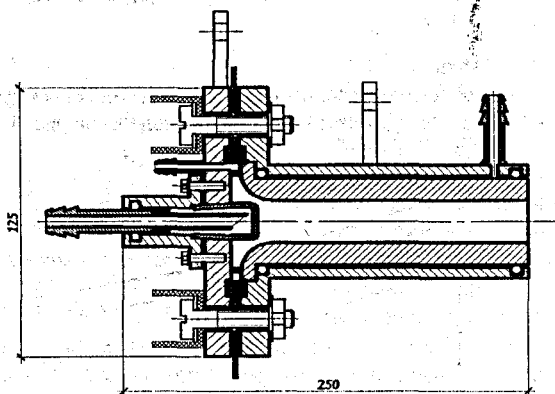


Рисунок 4 – Чертеж плазмотрона

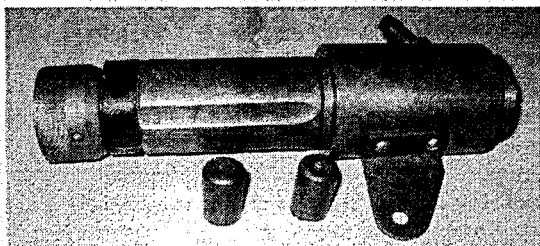


Рисунок 5 – Внешний вид плазмотрона

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Спиридонов, Н.В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н.В. Спиридонов [и др.]. – Мн. Вышэйшая школа, 1988. – 155 с.
2. Лецинский, Л.К. Плазменное поверхностное упрочнение / Л.К. Лецинский, С.С. Самогутин, С.С. Пирч, В.И. Комаров. – Киев: Техника, 1990. – С. 109.
3. Лахтин, Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1983. – 359 с.
4. Ри Сэйу. Поверхностное упрочнение металлов под действием высокотемпературной плазмы; пер. с японского. – ГИЗН. – 1977. – № 21. – С. 7-13.
5. Кидин И.Н. Фазовые превращения при ускоренном нагреве стали. – М.: Металлургиздат, 1957. – 94 с.
6. Рыкалин, Н.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: справочник / Н.Н. Рыкалин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – С. 485.

УДК 621.43

*Тристенъ А. В., Семёнов И. Н.*

*Научный руководитель: м.т.н., ст. преподаватель Стрauch И.В.*

### КИНЕМАТИКА КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА

Поршневой двигатель внутреннего сгорания (ДВС) является самой распространенной тепловой машиной, в которой теплота, выделяющаяся при сгорании внутри цилиндра топлива, превращается в полезную механическую работу. Это связано, прежде всего, с высоким коэффициентом полезного действия (КПД) и, следовательно, топливной экономичностью. Решающим фактором оказывается возможность реализовать высокую степень сжатия, поскольку рабочие процессы совершаются последовательно (циклически) в замкнутом объеме, ограниченном цилиндром, поршнем и крышкой (головкой).

Другой особенностью рассматриваемого типа двигателя является наличие механизма для преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение вала. Известны различные конструкции такого механизма: механизм с вращающейся шайбой при расположении осей цилиндров параллельно оси вала, механизм С.С. Баландина, симметричный ромбический механизм и др. Однако самое большое распространение имеет кривошипно-шатунный механизм (КШМ). Использование такого механизма порождает, как известно, серьезные проблемы, связанные с кинематикой и динамикой: большие скорости, ускорения и силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс, имеющие к тому же ряд частотных составляющих. Сюда следует добавить и силы давления газов, с их сложным периодическим характером, выражающимся спектром гармоник с разной амплитудой и частотой.

Совершенствование поршневых двигателей направлено не только на повышение их КПД, но и непрерывное форсирование их скоростных и нагрузочных режимов. При этом значительно возрастают силы и моменты (инерционные и давления газов), действующие на двигатель и его детали. Связанные с этим повышенные износы и разрушения усиливаются из-за колебаний двигателя, его частей и машины, на которой он установлен. Кроме того, они оказывают вредное воздействие на человека.

Следует иметь в виду также, что постоянно возрастают требования по повышению надежности и комфортабельности машины при уменьшении материалоемкости и габаритов. Несмотря на большое число исследовательских работ, в свете современного состояния и требований науки и техники эта проблема еще недостаточно изучена.

Задачей, имеющей практическое значение, является определение траекторий движения точек шатуна, их скоростей и ускорений. Это позволяет решать вопросы кинематики шатуна, возможности движения механизма и нахождения предельного внутреннего контура его картера. Кинематика точки шатуна, определяющей положение оси поршневого пальца, лежит в основе кинематики поршня [2].

Целью данной работы является автоматизация кинематического расчёта в среде программирования Visual Basic 6.0. Применение разработанного программного обеспечения позволит:

- снизить затраты времени на проведение расчётов;
- повысить точность расчётов;
- упростить построение графиков перемещения, скорости и ускорения для поршня и шатуна;
- смоделировать движение КШМ.

При анализе кинематики кривошипно-шатунного механизма в классической постановке принимают следующие допущения:

- 1) частота вращения кривошипа постоянна;
- 2) отсутствуют зазоры в сочленениях, т.е. между поршнем и цилиндром, поршнем и поршневым пальцем, поршневым пальцем и шатуном, между шатуном и шатунной шейкой, а также между коренными шейками и подшипниками;
- 3) размеры деталей КШМ не имеют отклонений от номинальных значений;
- 4) детали кривошипно-шатунного механизма являются недеформируемыми.

Для реализации кинематического расчёта КШМ были использованы следующие математические зависимости:

- 1) перемещение поршня ( $m$ ) в зависимости от угла поворота кривошипа для двигателя с центральным КШМ [1]:

$$s_x = R \cdot \left[ (1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} \cdot (1 - \cos(2\varphi)) \right], \quad (1)$$

где  $R$  – радиус кривошипа;  $\varphi$  – угол поворота кривошипа;  $\lambda$  – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна;

- 2) выражение для скорости поршня получим, взяв производную от выражения (3.1) хода поршня по времени [1]:

$$v_n = \frac{ds}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} \cdot \frac{ds}{d\varphi} = \omega \cdot R \cdot \left[ \sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \cdot \sin(2\varphi) \right], \quad (2)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения коленчатого вала;

- 3) максимальная скорость поршня зависит (при прочих равных условиях) от величины  $\lambda$ , учитывающей конечную длину шатуна, и достигается при  $\varphi < 90^\circ (+v_n)$  и  $\varphi > 270^\circ (-v_n)$ . С увеличением  $\lambda$  максимальные значения скорости поршня растут и сдвигаются в стороны мёртвых точек [1]:

$$v_n^{\max} \approx \omega \cdot R \cdot \sqrt{1 + \lambda^2}; \quad (3)$$

- 4) для сравнения быстроходности двигателей в расчётах часто используют среднюю скорость поршня [1]:

$$v_n^{\text{cp}} = 2 \cdot \omega \cdot R / \pi; \quad (4)$$



5) ускорение поршня получим, взяв производную от выражения (2) скорости поршня по времени [1]:

$$j = \frac{dv_{\Pi}}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} \cdot \frac{dv_{\Pi}}{d\varphi} = \omega^2 \cdot R \cdot [\cos \varphi + \lambda \cdot \cos(2\varphi)]; \quad (5)$$

6) максимальное значение ускорения поршня, как видно из выражения (5), достигается при  $\varphi = 0^\circ$  [1]:

$$j^{\max} = \omega^2 \cdot R \cdot (1 + \lambda); \quad (6)$$

7) минимальное значение ускорения поршня достигается при [3]:

$$\left. \begin{aligned} \lambda < 0,25 \text{ в точке } \varphi = 180^\circ; j^{\min} = -\omega^2 \cdot R \cdot (1 - \lambda) \\ \lambda > 0,25 \text{ в точке } \varphi = \arccos(-1/4\lambda); j^{\min} = -\omega^2 \cdot R \cdot [\lambda + 1/(8\lambda)] \end{aligned} \right\}; \quad (7)$$

8) перемещение шатуна определяем линейными перемещениями  $x_c$ ,  $z_c$  центра масс шатуна и его угловым перемещением  $\beta$  [2]:

$$\left. \begin{aligned} x_c = R(\sin \varphi - z_{oc} \sin \beta) \\ z_c = R(\cos \varphi + z_{oc} \cos \beta) \end{aligned} \right\}; \quad (8)$$

где  $z_{oc}$  – координата центра масс по оси OZ;  $\beta$  – угол отклонения оси шатуна от оси цилиндра;

9) скорость движения центра масс шатуна вдоль оси OX и оси OZ получим, взяв производную от выражения (8) перемещения шатуна по времени [2]:

$$\left. \begin{aligned} v_{xc} = R\omega (\cos \varphi - z_{oc}\lambda \cos \beta) \\ v_{zc} = R\omega (-\sin \varphi - z_{oc}\lambda \operatorname{tg} \beta \cos \varphi) \end{aligned} \right\}; \quad (9)$$

10) ускорение движения центра масс шатуна вдоль оси OX и оси OZ получим, взяв производную от выражения (9) скорости движения центра масс шатуна по времени [2]:

$$\left. \begin{aligned} j_{xc} = R\omega^2 (-\sin \varphi + z_{oc} \lambda \sin \varphi) \\ j_{zc} = R\omega^2 \left( -\cos \varphi + z_{oc} \lambda \operatorname{tg} \beta \sin \varphi - \frac{z_{oc} \lambda^2 \cos^2 \varphi}{\cos^3 \beta} \right) \end{aligned} \right\}; \quad (10)$$

Для разработки программы была выбрана среда программирования Visual Basic 6.0. Язык программирования VB достаточно прост и обладает большими возможностями по разработке прикладных программ, но также тем, что он используется для написания макросов во всех популярных приложениях Windows: Word Basic – для текстовых редакторов; Basic for Application – для электронных таблиц; Visual Basic – для баз данных. VB работает в среде Windows (не ниже Windows 95) и позволяет создавать приложения – программы для работы в этой среде. При этом программы имеют похожий интерфейс и способы управления. В частности, VB позволяет добавлять к окнам поля ввода, меню, командные кнопки, переключатели, флажки, списки, линейки прокрутки, а также диалоговые окна для выбора файла или каталога.

В качестве исходных данных выступают: радиус кривошипа, длина шатуна, частота вращения коленчатого вала, угол поворота кривошипа.

На основе исходных данных производится расчёт значений перемещения, скорости и ускорения поршня; максимальной и минимальной скорости поршня; средней скорости поршня; максимального и минимального ускорений поршня; перемещения, скорости и ус-

кореня центра масс шатуна. В качестве дополнения реализована возможность построения графиков перемещения, скорости и ускорения поршня и центра масс шатуна с возможностью выбора выводимых графиков; построение положения КШМ при максимальной (минимальной) скорости поршня и максимальном (минимальном) ускорении поршня.

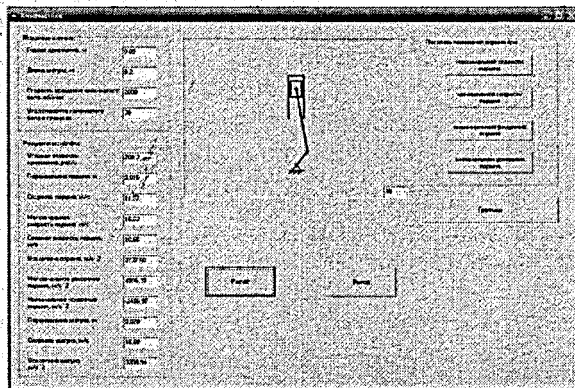


Рисунок 1 – Результаты расчёта

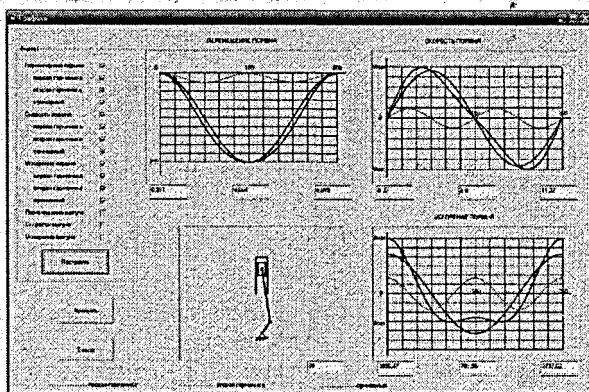


Рисунок 2 – Построение графиков

Разработанная программа позволяет автоматизировать расчёт кинематических показателей кривошипно-шатунного механизма и построение их графиков. Данная программа может быть использована в учебном процессе на лабораторных и практических занятиях по дисциплине «Автомобильные двигатели».

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методические указания для лабораторных работ по дисциплине «Силовые установки транспортных средств» для студентов специальности 1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей». – Брест: УО «БрГТУ», 2009.
2. Григорьев, Е.А. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма двигателя: учебное пособие. – Волгоград, 2004.

# **ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

## КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

### Введение

В данной работе рассматривается концепция построения системы контроля мобильного робота, которая реализуется в лаборатории робототехники университета прикладных исследований (г. Вайнгартен, Германия).

На данный момент для робота реализован метод позиционирования, основанный на данных от механических датчиков. Данный метод допускает внесение некоторых ошибок на небольших интервалах времени, но при увеличении дистанции ошибки позиционирования накапливаются и приводят к неточным результатам. Сделать этот метод более точным можно после внесения дополнительных условий и поправок на трение, скольжение, неточность позиционирования. Ввиду относительной сложности для реализации и учёта всех поправок возможно применение данного метода совместно с дополнительным алгоритмом, который бы давал меньшую погрешность при длительных измерениях.

Это позволяет говорить о создании системы двух уровней управления роботом: системы механического контроля позиционирования и независимой внешней системы контроля позиционирования робота.

Цель данной работы – создание системы контроля мобильного робота, независимой от точности работы и позиционирования механических составляющих робота.

Существует несколько возможных вариантов создания внешней независимой системы позиционирования:

1. Использовать лазерные дальномеры;
2. Применять ультразвуковые и инфракрасные датчики;
3. Применять веб-камеры или камеры видеонаблюдения.

Из перечисленных вариантов наиболее полную информацию предоставляют внешние камеры. В некоторых случаях объём информации от камер может быть даже излишним. К недостаткам камер можно отнести малую точность, а также необходимость специальных алгоритмов для обработки полученных изображений и сопоставления изображений от различных камер, что также обуславливает высокую трудоёмкость решения данной задачи.

Но преимуществом камер также является их повсеместная распространённость и относительно невысокая стоимость. Также возможность применения одинаковых алгоритмов на различных камерах позволяет разрабатывать более унифицированную систему.

Для повышения точности работы системы возможно применение датчиков измерения расстояния на мобильном роботе.

### Общее описание системы

Применение одной камеры позволяет определить положение робота, статических объектов в поле зрения камеры, а также направление движения движущихся объектов.

Применение же большего количества камер позволяет определять положение робота с большей точностью и в большей области помещения.

На начальном этапе для тестирования и отработки алгоритмов оптимальным решением будет применение 2-х внешних камер в небольшом помещении.

Любые камеры должны быть откалиброваны и настроены для дальнейшего применения и вычисления положения объектов, распознанных на изображении, в реальном пространстве.

После калибровки камер, а также их совместной калибровки, область помещения, за которой наблюдают совместно обе камеры, можно охарактеризовать как область с низкой ошибкой позиционирования. Области, охватываемые только одной из камер, менее достоверны и требуют дополнительной информации для точного позиционирования.

Также в помещениях будут зоны, не охватываемые ни одной из камер и движение робота в данных областях нежелательно.

Одно из возможных решений данной проблемы может быть применение широкоугольной оптики на камерах. Это позволит охватить большую часть помещения и получить большую область, охватываемую двумя камерами. Но в то же время применение данной оптики вносит очень большие искажения в изображение, что затрудняет калибровку камер и снижает чёткость изображения.

Так как точность позиционирования объектов не является достаточной, возможно повышение точности определения положения робота при применении дополнительных датчиков определения расстояния на самом роботе. Это позволит узнать точное положение робота относительно некоторого распознанного объекта, который видим также и камере. Применение же вместо простого датчика определения расстояния трёхмерной камеры позволяет не только получать информацию о расстоянии до определённого объекта, но и контролировать окружающее робота пространство в направлении движения самим роботом.

Другим аспектом работы данной системы является вычислительная сложность алгоритма обработки изображения, получаемого от камеры. При недостаточной мощности обрабатывающего компьютера будет происходить уменьшение количества полезных кадров, получаемых от камеры, т.е. компьютер не будет успевать обрабатывать все получаемые изображения и некоторые кадры будут пропущены, что может отразиться на точности работы системы.

#### **Выводы**

1. Предложена концепция построения системы контроля мобильным роботом.
2. Данная концепция реализуется в лаборатории робототехники университета прикладных исследований (г. Вайнгартен, Германия).

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Головки, В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение / В.А. Головки. – М: ИПРЖР, 2001. – Кн.4. – 256 с.

УДК 004.8.032.26

Войцехович Г.Ю.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Головки В.А.

## **ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОДТИПОВ ТРАНЗИТОРНЫХ ИШЕМИЧЕСКИХ АТАК**

### **Введение**

ТИА – это самостоятельная гетерогенная нозологическая единица, по своим клиническим характеристикам отличная от состоявшегося острого инсульта мозга. В глубине структур головного мозга, как следствие воздействия различных, так называемых, фак-

торов риска, развивается хаотизированный, неустойчивый, нелинейный по характеру развития, непредсказуемый, особенно в самом начале своего развития, конфликт между адаптивно-саногенными и патогенными процессами. Даже на уровне результатов самых совершенных нейровизуализационных структурно-морфологических исследований клиническая картина (компьютерная или магнитно-резонансная томография, доплерографическое исследование и т.д.) не всегда соответствует им.

### **Неудовлетворительное положение вещей в диагностике, лечении и профилактике ТИА**

В реальном времени анализ результатов обследования пациента и последующих параклинических данных в значительной степени идет во «временном разрыве», обусловленным разбегом во времени между обследованием пациента и заключением параклинического нейровизуализационного исследования. В этом «мертвом временном интервале», скрытом от врачебного мониторинга, могут произойти самые неожиданные этиопатогенетические состояния и процессы. В связи с чем предлагается двухэтапный подход к решению проблемы: на первом этапе довольствоваться легкодоступными анамнестическими данными, делая акцент на их изучении с помощью методов нечеткой формальной логики и математических алгоритмов, а второй этап – это последующие нейровизуализационные исследования в общем рутинном исполнении, по результатам которых проводится соответствующая терапевтическая коррекция.

Предлагаемый подход к упреждающей прогнозной диагностике эпизода ТИА не претендует на окончательное решение проблемы, но преследует цель максимально сократить «мертвый временной интервал» скрытости и недоступности к изучению нейропатологических изменений и ускорить начало проведения целенаправленных этиотропных лечебно-профилактических мероприятий.

### **Имеющийся задел в прогнозной донозологической диагностике по подтипам ТИА**

На сегодняшний день уже четко обозначена этиопатогенетическая гетерогенность возникновения и развития этой нозологии и диагностическое деление по трем подтипам ТИА и классу НОРМА:

1. Атеротромботический подтип (СубТИА1).
2. Кардиоэмболический подтип (СубТИА2).
3. Гипертензивный подтип (СубТИА3).
4. Норма (НОРМА).

Исследования проводились на «доинтеллектуальном» уровне с применением статистических методов «добычи данных» (дискриминантный и факторный анализы). Были получены удовлетворительные результаты по распознаванию и классификации объектов (пациентов) по подтипам ТИА и классу НОРМА, но из-за выраженной «переобученности» классификационных объектов (пациентов) распознавательная эффективность дифференциально-диагностической системы по этим классам резко снижалась. Что делало ее непригодной для практической работы.

### **Структура разработанной системы**

На рис. 1 приведена система распознавания классов ТИА, которая состоит из рециркуляционной нейронной сети и многослойного персептрона, которые соединены последовательно. Задачей такой системы является обнаружение и распознавание ТИА. Она состоит из двух типов нейронных сетей, а именно рециркуляционной и многослойного пер-

септрона. В качестве входных данных используется 41-размерный вектор, который характеризует исходные данные (признаки и симптомы) пациента. В качестве выходных данных используется 4-мерный вектор, где 4 – это количество классов ТИА плюс нормальное состояние.

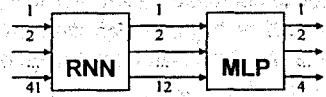


Рисунок 1 – Структура системы

Между используемыми входными данными существуют сложные и избыточные взаимосвязи, которые сложно определить. Поэтому на первом этапе обработки входной информации происходит уменьшение размерности входного вектора данных с использованием метода главных компонент. Метод главных компонент позволяет перейти от исходного пространства данных к вспомогательному, которое характеризуется меньшей размерностью и информативностью исходного пространства. В качестве метода получения главных компонент будем использовать рециркуляционную нейронную сеть (RNN), так как она позволяет легко осуществить нелинейное сжатие информации. В результате экспериментов было определено оптимальное число главных компонент, равное 12. Второй этап состоит в обнаружении и распознавании ТИА. Для этого используется многослойный персептрон (MLP), который осуществляет обработку сжатого пространства входных образов (главных компонент) с целью распознавания класса атаки.

**Описание нейронных сетей**

Рассмотрим рециркуляционную нейронную сеть, предназначенную для формирования главных компонент (рис. 2).

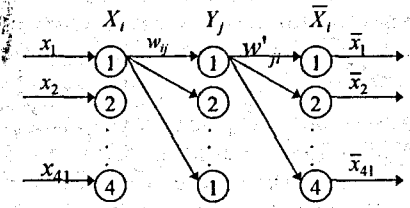


Рисунок 2 – Архитектура RNN

Она представляет собой трехслойный персептрон, который может осуществлять в зависимости от используемой функции активации нейронных элементов, линейное или нелинейное сжатие входных данных. Скрытый слой выполняет операцию сжатия входных образов в главные компоненты. Значение  $j$ -го элемента скрытого слоя определяется, как

$$y_j = F(S_j), S_j = \sum_{i=1}^{41} w_{ij} x_i,$$

где  $F$  – функция активации;  $S_j$  – взвешенная сумма  $j$ -го нейрона;  $w_{ij}$  – весовой коэффициент между  $i$ -ым нейроном входного и  $j$ -ым нейроном скрытого слоя;  $x_i$  –  $i$ -ый входной эл-т.

Значения нейронных элементов выходного слоя определяются следующим образом:

$$\bar{x}_i = F(S_i), S_i = \sum_{j=1}^{12} w'_{ji} y_j,$$

где  $w'_{ji}$  – весовой коэффициент между  $j$ -ым нейроном скрытого и  $i$ -ым нейроном выходного слоя;  $\bar{x}_i$  –  $i$ -ый выходной элемент.

Рассмотрим выражения для обучения RNN. Для линейной рекуррентной нейронной сети используется правило обучения Ойя, а для нелинейной – алгоритм обратного распространения ошибки (backpropagation algorithm). В соответствии с правилом Ойя весовые коэффициенты для линейной RNN модифицируются следующим образом:

$$w'_{ji}(t+1) = w'_{ji}(t) - \alpha \cdot y_j \cdot (\bar{x}_i - x_i), \quad w_{ij} = w'_{ji}.$$

Такая RNN осуществляет операцию сжатия при помощи линейного ортогонального преобразования входной информации. В результате такого преобразования компоненты выходного вектора являются некоррелированными между собой, и первые главные компоненты содержат наиболее информативную составляющую входных данных.

Рассмотрим отображение входного пространства образов на плоскость двух первых главных компонент. На рис. 3 графически представлена классификационная картина разделения клинических случаев по подтипам ТИА методом линейной RNN в намерении получить четкое разграничение по «участкам существования» каждого из трех подтипов ТИА (классы 1-3) и класса НОРМА (4). К сожалению, искомого четкого разграничения по участкам концентрации клинических наблюдений этим методом получить не представлялось возможным.

В связи с чем такая же классификация была проведена по методу нелинейной RNN, рис. 4, где в качестве функции активации нейронных элементов скрытого слоя использовалась сигмоидная функция. Здесь уже представлена более четкая классификационная картина разделения по подтипам ТИА (1-3) и классу НОРМА (4).

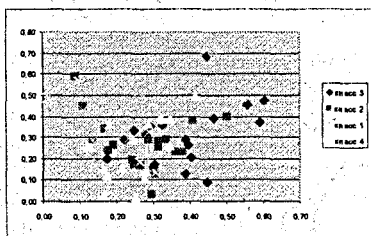


Рисунок 3 – Данные, обработанные линейной RNN

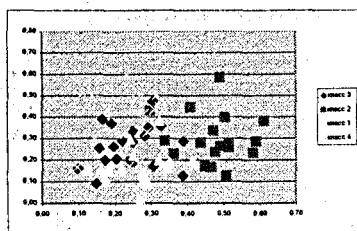


Рисунок 4 – Данные, обработанные нелинейной RNN

Как следует из рисунка, в сравнении с линейной RNN нелинейная RNN осуществляет лучшую визуализацию данных – на рисунке достаточно четко обозначено стремление объектов (анализируемых клинических случаев) располагаться в «своих» областях. Такое разделение на предыдущем рисунке представлено менее четко.

Классификация по методу нелинейной RNN (рис. 4) уже вполне приемлема для практического применения. Такой способ классификации, а точнее, индивидуальное выделение пациентов по подтипам ТИА, осуществляется по совершенно незатратным анамнестическим признакам-предикторам (паспортные данные пациента, социальные признаки, жалобы, симптомы). Таким образом, это предварительное ассистирующее исследование по индивидуальной прогнозной диагностике дает возможность врачу уже при первом обследовании пациента разобратся в его хаотичной скоротечной субклиниче-



ской симптоматике, сокращая тем самым «мертвый временной интервал» между началом обследования пациента и назначением лечебно-профилактических мероприятий. В этом заключается клинический смысл прогнозной донозологической дифференциальной диагностики по предотвращению возникновения эпизода ТИА с учетом наиболее вероятного этиопатогенетического вектора (атеротромбоз, кардиоэмболия, артериальная гипертензия) начала развития гипоксическо-ишемического цереброваскулярного процесса.

### Результаты тестирования

Для обучения и тестирования использовалась база данных для 101 пациента. При этом каждая запись содержит 41 параметр: возраст; пол; место жительства; особенности ночного сна; бессонница; наследствен. по патологии сосудов мозга; наследственность по другим заболеваниям; артериальная гипертензия; диастолическое давление; аускультация сердца; границы сердца; употребление алкоголя; курение и др. Каждая запись соответствует одной из четырех групп классификации ТИА. Распределение записей по классам следующее: ТИА1 – 22 записи, ТИА2 – 22 записи, ТИА3 – 22 записи и ТИА4(норма) – 35 записей. Для обучения нейронных сетей в экспериментах использовались обучающие выборки размерностью 51 и 83 (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты тестирования системы

Кол-во образов в обучающей выборке	Кол-во образов в тестовой выборке	Максимальный % распознавания на обучающей выборке	Максимальный % распознавания на тестовой выборке
51	50	100%	76%
83	18	100%	77%

Соответственно для тестирования и проверки обобщающей способности использовались 50 и 18 записей, которые не входили в обучающую выборку. Как следует из таблицы, процент распознавания классов ТИА достигает 100% на обучающей выборке, а на тестовой выборке составляет соответственно 76 и 77 процентов.

### Заключение

В силу нечеткости входных данных эти результаты являются приемлемыми. Кроме того, вполне вероятно, что имеющихся данных недостаточно для качественного обучения многослойного персептрона. В условиях недостатка исходных данных необходимо продолжить работу в данном направлении по увеличению обобщающей способности системы.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Безобразова, С.В. Применение нейросетевых методов и теории Хаоса для обнаружения эпилептиформной активности / С.В. Безобразова, В.А. Головки, В.В. Евстигнеев // Вторая Международная конференция "Современные информационные и телемедицинские технологии для здравоохранения" 1-3 октября, 2008 г. – Минск. – С. 133-137.
2. Дривотинов, Б.В. К выявлению этиотропного фактора подавления развития кардиоэмболического (кардиогенного) подтипа транзиторной ишемической атаки / Б.В. Дривотинов, М.И. Тарасевич, А.С. Мاستыкин, Е.Н. Апанель, Н.А. Новоселова // Медицинский журнал. – 2008. – № 1. – С. 115-119.
3. Дривотинов, Б.В. Адаптивная нейро-нечеткая модель для дифференциальной диагностики подтипов транзиторных ишемических атак / Б.В. Дривотинов, Е.Н. Апанель, П.А. Новоселова, А.С. Мاستыкин, А.С. Федулов // Военная медицина. – 2007. – № 4. – С. 101-106.
4. Гиткииа, Э.С. Адаптация клинической классификации сосудистых поражений мозга к международной статистической классификации болезней X пересмотра / Э.С. Гиткииа, Е.Н. Пономарева, В.В. Евстигнеев, В.Б. Шалькевич // Медицинские новости. – 2000. – № 6. – С. 3-10.

## МОДЕЛЬ АГЕНТА-ИГРОКА РОБОФУТБОЛЬНОЙ КОМАНДЫ

### Введение

Долгое время игра компьютера в шахматы рассматривалась в качестве полигона по отработке методов теории искусственного интеллекта. После победы суперкомпьютера Deep Blue над Каспаровым возникло предложение выбрать игру в футбол как задачу, которая может на ближайшие десятилетия стать аналогичным полигоном. Более того, поставлена честолобивая задача – на чемпионате мира в 2050 г. команда роботов должна победить команду людей-футболистов. Начиная с 1997 г. проходят чемпионаты мира среди роботов-футболистов (Robocup, FIRA). Сейчас они проводятся в нескольких лигах, одна из которых – компьютерное моделирование игры (соревнование алгоритмов). Также имеется практика проведения чемпионатов по компьютерному моделированию игры в футбол и на территории СНГ.

Как ни странно, но для компьютера игра в футбол является значительно более сложной, чем игра в шахматы. Она происходит в реальном времени, в реалистичных физических условиях, при неполной информации. К тому же, имеет значительно большее число комбинаторных вариантов при принятии решения в силу своей непрерывности. Построение живого робота-футболиста требует решения многих задач, начиная от компьютерного зрения и распознавания образов до координации и управления группой роботов. Компьютерное моделирование роботов-футболистов концентрируется на вопросах стратегического и тактического управления группой объектов в реальном времени, находящихся во внешнем, изменяющемся окружении – так называемые мультиагентные системы. Эти задачи находят многочисленные применения в военных приложениях, спасательных операциях, мониторинге экологической ситуации микророботами, а также является неотъемлемой частью исследовательской работы множества лабораторий, занимающихся вопросами коллективного поведения и искусственного поведения.

### Мультиагентный подход

В имитационном моделировании существует несколько парадигм – постановок проблем и подходов к их решению, используемых в качестве “каркаса” при построении и анализе моделей. Можно выделить четыре достаточно различные системы взглядов: динамические системы, системная динамика, дискретно-событийное моделирование, мультиагентные модели.

Эти парадигмы различаются не столько областями применения, сколько концепциями и взглядами на проблему и подходами к решению проблемы. Очень часто приверженцы одной парадигмы считают, что “правильные” постановка и решение проблем имитационного моделирования возможны только в рамках концепций и методик именно этой парадигмы. Например, апологеты моделирования и анализа динамических систем считают, что остальные подходы “не совсем” научны, либо они являются частным случаем представления и анализа систем в виде систем алгебро-дифференциальных уравнений. В действительности, каждая из парадигм имеет право на жизнь, их использование определяется только целью моделирования и связанным с этой целью выбранным уровнем абстракции при решении проблем.

Новое недавно возникшее направление в имитационном моделировании – так называемое агентное (мультиагентное) моделирование ("agent-based modeling"), имеет свои особенности. Агентная модель представляет реальный мир в виде многих отдельно специфицируемых активных подсистем, называемых агентами. Каждый из агентов взаимодействует с другими агентами, которые образуют для него внешнюю среду, и в процессе функционирования может изменить как внешнюю среду, так и свое поведение. Обычно в таких системах не существует глобального централизованного управления, агенты функционируют по своим законам асинхронно.

Для построения модели робота-футболиста будет использоваться именно мультиагентный подход. Конечно, первоначально это обусловлено программами-серверами, предоставляющими среду моделирования. Но на самом деле мультиагентный подход помогает преодолевать множество нерешаемых проблем, возникающих при обычном моделировании, таких как взаимодействие объектов на основе выработанного поведения, в зависимости от внешних условий, коллективное решение одной задачи, реализация общей стратегии, предсказание и так далее.

### Концепция виртуального агента-игрока

Несмотря на то, что на сегодняшний день существует множество соревнований по симуляции, моделирование в которых осуществляется на основе собственной реализации сервера, существует общая модель агента-игрока. Для внешней среды каждый агент представляет собой черный ящик, который получает входную информацию (внешние воздействия), обрабатывает её, и производит воздействие на окружающую среду – какое-либо действие (рис. 1).



Рисунок 1 – Представления агента для среды моделирования

Для того чтобы правильно формировать выполняемые действия, агенту необходимо сформировать представление об окружающей среде. Для этого необходимо классифицировать виды входной информации. Так как моделирование среды основано на приближенных к реальности условиям, все входные данные агент получает со своих виртуальных сенсоров. Поэтому входную информацию можно разделить на следующие виды:

- машинное зрение (детектирование объектов на поле);
- слуховые сенсоры (услышать сообщение партнера по команде);
- различные сенсоры (для определения местоположения соперников, партнеров по команде и мяча, а так же разметки поля и ворот).

На основе вышеописанных входных данных игрок строит свою модель мира и предпринимает какие-либо действия в соответствии с поставленной перед ним задачей. Отсюда следует что входной набор данных неоднозначно определяет последующее действие. А только совокупность прошедших действий на поле в сумме с командной стратегией и специализацией игрока дают выходное воздействие.

На основе входных воздействий робот-футболист выполняет различные действия (если агент не произвел никакого действия в данный момент времени, это так же счита-

ется действием). Действия игрока можно классифицировать следующим образом:

- физическое действие (бег, поворот, удар по мячу и т.д.);
- передать какую-либо информацию другому игроку или всей команде (как правило, текстовое сообщение).

Несмотря на кажущуюся простоту воздействий на смоделированный окружающий мир, множество вариантов очень велико. Такое количество вариантов, в свою очередь, определяет уровень сложности поставленной перед игроком задачи – его тактики. Поэтому каждый виртуальный агент должен обладать системой принятия решений, как на основе общей цели, так и на основе собственных прогнозов.

### Модуль агента-игрока и их взаимодействие

Несмотря на то, что сам по себе модуль будет являться агентом, необходимо определить его составные части. Основываясь на распространенных средах моделирования робофутбола можно выделить структуру, отображенную на рис. 2, описывающую модель робота-игрока. Управление ударом, анализ визуальной информации, расшифровка звуковой информации и управление бегом являются низкоуровневой функциональностью агента. Несмотря на кажущуюся простоту структурных единиц, существует множество подводных камней, встречающихся в некоторых из симуляционных сред. Одна из самых серьезных проблем – вносимые помехи. Помехи, сами по себе вносятся сервером, а также как результат работы алгоритмов считывания и обработки данных, присылаемых с сервера. В связи с этим, для более точной обработки данных, одним из распространенных способов является применение искусственных нейронных сетей (ИНС), с помощью которых можно быстро и достаточно точно получать «предсказания» будущего поведения окружающей среды. Ещё одним важным преимуществом ИНС является их работоспособность при минимальном количестве входных данных.

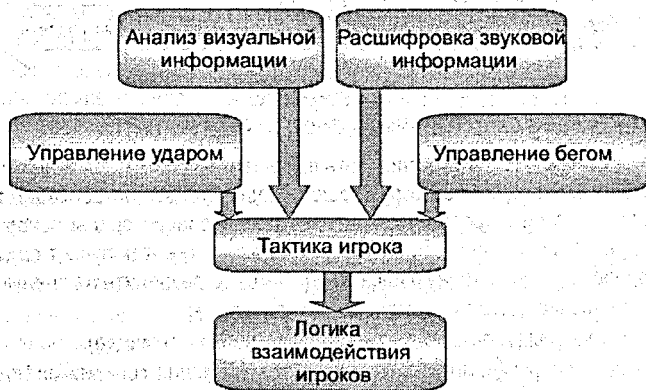


Рисунок 2 – Структура модуля агента-игрока

Функциональная часть модуля «тактика игрока» является самой важной и наиболее сложной, а значит, и самой неопределенной в плане реализации. При реализации мультиагентного подхода можно встретить множество различных архитектур агентов-игроков, многие из которых не имеют родственных корней. Но проанализировав многие из модулей, можно выделить некоторые подходы, наиболее популярные среди разработчиков: ИНС; нечеткая логика; обучение с подкреплением.

Задача управления агентом может быть решена с помощью ИНС. В настоящий момент новым веянием в науке является применение модели спайковых нейронных сетей. Их особенностью является максимальное приближение к реакции нейрона человека, используемой в функции активации, которая зависит так же от времени. Тем самым, на основе нейронных систем данного типа можно строить сложные системы взаимодействия с окружающей средой. Несмотря на хорошую адаптивность систем, построенных на ИНС, их обучение до сих пор остается довольно трудоемкой задачей.

Применение методов нечеткой логики предоставляет мощный аппарат для манипулирования агентом в среде. Поведение объектов в окружающей среде описывается настраиваемым набором правил. Адаптация правил происходит в процессе обучения агента с учетом поставленных целей.

Одним из самых эффективных методов для обучения виртуальных агентов является подкрепляющее обучение. Его основы, построенные на методе поощрения и наказания, формируют поведение агента в зависимости от входных данных (расположение игроков и мяча, их направления движений, режиме нападения или защиты команды), и произошедших событий на поле (забитый гол, оффсайд, нарушение правил). При правильном задании ограничений для агента и назначении за них наказаний, агент самостоятельно обучается поведению в окружающей среде и, как показывает практика, находит оптимальное решение поставленных задач.

Так же очень популярным является применение разнообразных алгоритмов на графах, геометрических методов (Делонова триангуляция) и других в подходе к решению задачи.

Но не смотря на множество методов и подходов, одним из важных аспектов при проектировании виртуального агента-футболиста, является синтез нескольких различных решений. Тем самым слабые стороны одних методов компенсируются сильными сторонами других.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Noda, I., Matsubara, H. Soccer server and researches on multi-agent systems. In Kitano, H., ed.: Proceedings of IROS-96 Workshop on RoboCup. (Nov. 1996) 1-7
2. Peter, S. Layered Learning in Multi-agent System [D]. Pittsburgh: school of computer science, Carnegie Mellon University, 1998.
3. M. Riedmiller and Artur Merke. Using machine learning techniques in complex multiagent domains / In I. Stamatescu, W. Menzel, M. Richter and U. Ratsch, editors, Perspectives on Adaptivity and Learning, LNCS, Springer, 2002.

УДК 004.514.62

*Дёмин В.В.*

*Научный руководитель: к.т.н, доцент Костюк Д.А.*

#### ГРУППОВОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ФОКУСА ОКОН С ПЕРЕМЕННЫМ МАСШТАБИРОВАНИЕМ

##### Введение

Ограниченные аппаратные ресурсы персонального компьютера не позволяют задействовать большие площади для вывода информации. Для преодоления этого ограничения в оконных интерфейсах используется ряд специальных вспомогательных элементов навигации, позволяющих увидеть одновременно, хотя бы схематично, изображение всего рабочего пространства [1]. Основная проблема при разработке таких решений –

сложность одновременного сочетания четкой объектно-ориентированной парадигмы [2] (интуитивной аналогии между программными объектами и объектами реального мира) и обратной совместимости с разработанными ранее программными продуктами. Последнее требование диктуется законами рынка и необходимо для того, чтобы интерфейсное решение и основанная на нем рабочая среда получила сколько-нибудь широкое распространение.

До недавнего времени в угоду обратной совместимости вспомогательные элементы навигации, позволяющие пользователю видеть общую схему виртуального рабочего пространства, оставались схематичными и условными. В последнее время наблюдается рост наглядности таких элементов в связи с появившейся возможностью задействовать аппаратные ресурсы видеоадаптеров, применявшиеся ранее только в игровых и графических программах. Этот подход позволяет разработать более удачные интерфейсные решения, сохраняя совместимость с существующим программным обеспечением.

К числу вспомогательных элементов навигации в виртуальном рабочем пространстве интерфейса, получивших распространение на сегодняшний день, можно отнести:

- программы-пейджеры окон;
- панели переключения окон;
- док-панели.

#### **Программы-пейджеры окон**

Программы-пейджеры в настоящее время стали стандартным элементом ГПИ Unix-подобных систем и также доступны в качестве отдельных коммерческих продуктов для ОС семейства Windows. Рабочая область, в несколько раз превышающая видимое изображение, поделена на части, называемые виртуальными рабочими столами или, реже, страницами (page). Пейджер показывает в отведенной ему области экрана схематичное изображение виртуальных рабочих столов. Рабочий стол, с которым работает пользователь в текущий момент, может выделяться в пейджере цветом.

Как правило, в области пейджера отображаются также прямоугольники границ имеющихся на рабочих столах окон (рис. 1-а). В некоторых графических оболочках в качестве модуля расширения был реализован пейджер, отображающий уменьшенные изображения окон. Классическим примером является оконное окружение Enlightenment версии 16 (рис 1-б). Однако на практике отображение содержимого окон в пейджере скорее затрудняло навигацию, чем облегчало ее. Масштаб, слишком сильно уменьшенный по сравнению с более функциональным вариантом мини-окон [3, 4] часто не позволял судить о содержимом окна, «засоряя» изображение пейджера трудноразличимыми мелкими деталями. Кроме того, сам пейджер занимал в два раза больше места на экране по сравнению с вариантом, когда в нем отображались только границы окон. В довершение, оконные менеджеры в то время еще не использовали аппаратное ускорение графики, и обновление пейджера производилось 1 раз в секунду или реже, что не добавляло решению динамичности.

Экспериментальная (и вероятно, самая первая) реализация аппаратно-ускоренного оконного менеджера в проекте Luminocity уже содержала в себе полноценный аппаратно-ускоренный пейджер, отображавший окна в реальном масштабе времени (рис. 1-в). Однако в стандартные оконные менеджеры это решение не вошло – не в последнюю очередь потому, что проблема слишком малого масштаба изображений окон при увеличенном в размерах пейджере по-прежнему оставалась актуальной.

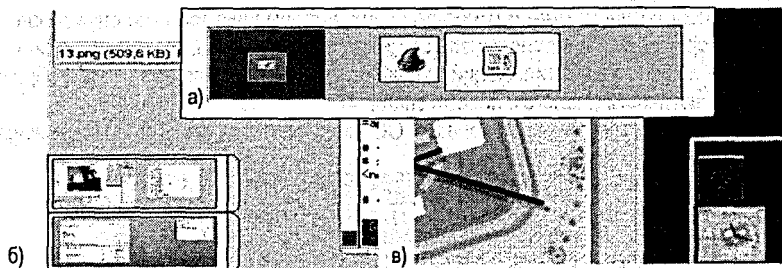


Рисунок 1 – Пейджеры окон: в современной системе (а, двукратное увеличение), в оконном менеджере Enlightenment (б), в аппаратно-ускоренном пейджере проекта Lumiposity (в)

Таким образом, можно отметить недостатки пейджера – слишком малый масштаб для отображения содержимого окон, невозможность получить представление об их содержимом при принятом в настоящее время схематичном отображении, и, как следствие, – слабая пригодность для отслеживания динамических событий.

### Панель переключения окон

Этот элемент навигации предоставляет собой визуальный интерфейс для наглядного переключения окон с помощью клавиатуры (обычно – стандартным сочетанием Alt+Tab).

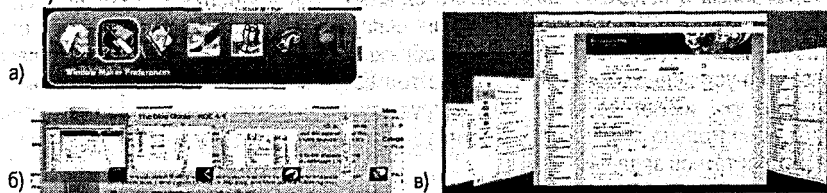


Рисунок 2 – Переключение окон: классическое решение (а, б), overflow-эффект (в)

В ранних реализациях панель переключения отображала пиктограммы окон, под которыми обычно выводилась часть текста из заголовка окна. Позднее к пиктограммам добавились снимки содержимого окна, а с появлением аппаратного ускорения оконных менеджеров – динамическое изображение. Однако последнее может быть использовано только для неминимизированных окон, т.к. в процессе минимизации окна в X-Windows разрушается соответствующее ему изображение [4]; в результате на самом деле панель переключения окон предоставляет в лучшем случае смешанное отображение: пиктограмму для минимизированных окон и динамическую текстуру для остальных.

Следует отметить, что поскольку панель переключения окон всегда появляется на экране на короткое время, востребованность динамики в ней ниже, чем в постоянно отображаемых на экране элементах. К минусам ее как элемента навигации можно отнести сравнительно малую информативность и неудобство использования при большом количестве окон на рабочем столе.

### Док-панели

Функционально панели этой категории предназначены для размещения ярлыков быстрого запуска, а также доклетов – специализированных приложений, не имеющих четко

выраженного собственного окна и отображающих информацию (обычно служебного характера) непосредственно в панели, за которой они закреплены. Ярлыки быстрого запуска для уже запущенных приложений обычно визуально выделяются; таким образом, док является частичным аналогом панели задач [4].

Одним из самых известных док-панелей ОС Linux является Avant Windows Navigator (рис. 3).

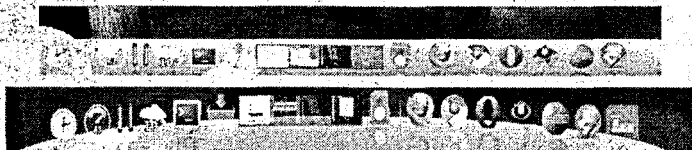


Рисунок 3 – Док-панель AWN

К док-панелям также относят решения, позволяющие пользователю «свернуть» окно, в результате чего оно не отображается на экране непосредственно, а вместо этого присутствует в специальной области панели в виде сильно уменьшенного изображения (миниатюры). Модули расширения, реализующие эту функциональность, время от времени появлялись для различных графических оболочек, но выход за рамки экспериментального проекта получил, по-видимому, только вариант для оконного менеджера XFVWM-Crystal [3]. Несмотря на лучшую различаемость содержимого по сравнению с отображением в пейджере содержимого скрытых окон (миниатюра имеет высоту, как минимум, сравнимую со всем пейджером целиком) миниатюры или мини-окна более требовательны к ресурсам, и для их отображения крайне желательно использование аппаратно-ускоренной графики. Вместе с тем современные аппаратно-ускоренные менеджеры уже имеют развитую инфраструктуру вспомогательных средств навигации, удовлетворительно выполняющих свои функции, что делает поддержку мини-окон менее приоритетной задачей.

#### Модель группирования мини-окон

Таким образом, каждый из рассмотренных вспомогательных элементов навигации имеет свои недостатки, обусловившие их ограниченные сферы применения и разделение выбора пользователей. В противоречии оказываются также наглядность, простота и удобство использования. В некоторых графических оболочках, для операционных систем Linux, сделан шаг к интеграции нескольких концепций, за счет чего работа пользователей становится более комфортной. Но полнофункциональной реализации, объединяющей достоинства всех трех категорий, не существует до сих пор.

Для дальнейшего развития интерфейса управления окнами нами предлагается модель панели с группированием динамических миниатюр.

Миниатюры окон по-прежнему располагаются вдоль выбранной стороны экрана – например, вдоль нижней (рис. 4-а), как в классическом варианте XFVWM-Crystal.

Пользователь может менять порядок мини-окон, перетаскивая миниатюру на свободное место между двумя другими. Однако он может также перетянуть одну миниатюру на другую, собирая их тем самым в группы. Группы выделяются более плотным расположением (рис 4-б).

Группирование мини-окон позволяет развернуть всю группу по щелчку мышью, вместо разминиатюризации окон по одному. Например, щелчок по самой левой группе на рисунке увеличит вернет на экран в нормальном масштабе окна 7 и 3.



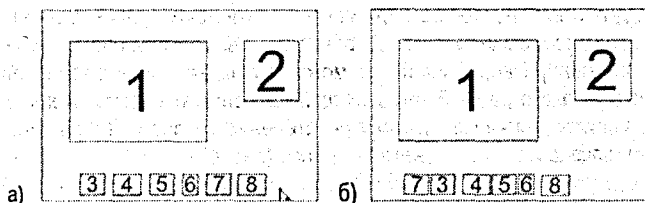


Рисунок 4 – Рабочее окружение с мини-окнами (а) и с группировкой мини-окон (б)

Недостаток такого переключения в том, что оно оказывается односторонним: два развернутых таким образом окна нельзя одним действием вернуть в группу. Поэтому для временного переключения между группами окон необходим другой способ.

Наиболее очевидный – с использованием клавиатуры, по аналогии с переключением между окнами. К примеру, перебор групп может производиться по сочетанию клавиш Super+Tab (Win+Tab на клавиатурах с обозначениями клавиш в стиле Microsoft).

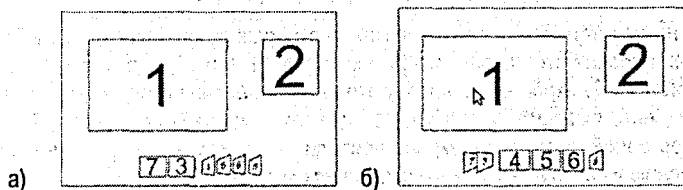


Рисунок 5 – Переключение между группами окон

По аналогии с известным модулем расширения оконного менеджера Compriz, использующим это сочетание клавиш в настоящее время, для переключения групп представляется целесообразным использовать эффект coverflow (подразумевающий «перелистывание» объектов по аналогии с перелистыванием страниц альбома). При применении этого эффекта к группированию мини-окон, по нажатию Super+Tab выделенная группа (первая на рис. 5-а) отрисовывается во фронтальной проекции, а остальные – в изометрической с перспективными искажениями. Дальнейшее переключение между группами производится нажатиями Tab до тех пор, пока пользователь продолжает удерживать клавишу Super. Таким образом, повторное нажатие Tab выделяет вторую группу (рис 5-б) и так далее. Отпускание Super приводит к тому, что выбранная группа разворачивается, а ее место занимают мини-окна, бывшие перед этим на экране. На рис. 6 показан результат отпускания Super после двукратного нажатия Tab для рассматриваемой схемы окон.

Как видно, миниатюры окон 1 и 2 разместились в панели мини-окон в качестве второй группы – вместо составлявших ее ранее окон 4, 5 и 6.

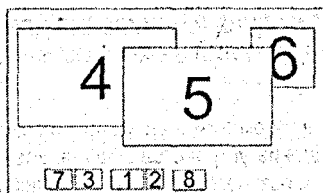


Рисунок 6 – Результат переключения групп окон

Наконец, помимо группового переключения окон, актуальной задачей представляется также их групповой запуск (что позволит перекрыть функционал ярлыков запуска программ в док-панели). Панель мини-окон может содержать для этого специальный доклет – псевдогруппу с пиктограммой, отвечающей за историю работы оконного интерфейса. Выбор ее в списке мини-окон приводит к затемнению экрана и отображению на нем групп окон, сформировавшихся пользователем ранее (рис. 4).

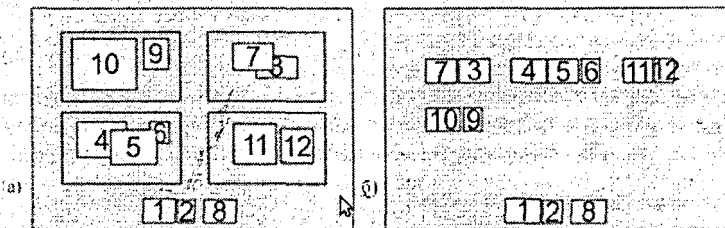


Рисунок 7 – История группированных окон

При незначительном числе групп можно отображать уменьшенные изображения виртуальных рабочих столов, как это делает пейджер (рис.7-а), а в случае значительного количества, когда экран не позволяет отображать рабочие столы с удовлетворительным коэффициентом масштабирования, – в виде сгруппированных миниатюр (рис. 7-б).

Выбор одной из групп на экране приводит к запуску входящих в нее приложений и размещению их окон в запомненных позициях экрана.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Раскин, Дж. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. – СПб.: Символ-Плюс, 2003. – 272 стр.
2. Гульятёв, А.К. Проектирование и дизайн пользовательского интерфейса. – А.К. Гульятёв, В.А. Машин / СПб.: "КОРОНА принт", 2000. – 352 стр.
3. Дёмин, В.В. Реализация модели динамических мини-окон в аппаратно-ускоренном графическом интерфейсе // Современные проблемы математики и вычислительной техники: материалы VI Республиканской научной конференции молодых ученых и студентов, Брест, 26-28 ноября 2009 г. – Брест: БрГТУ, 2009. – Ч. II. – С. 21-24
4. Костюк, Д.А. Модель мини-окон с динамическим отображением в аппаратно-ускоренном графическом интерфейсе / Д.А. Костюк, В.В. Дёмин // Вестник БрГТУ. – 2009, №5 (59): Физика, математика, информатика. – С. 71-74.

УДК 004.514.62

**Дёмин В.В**

*Научный руководитель: к.т.н, доцент Костюк Д.А.*

### РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯ РАСШИРЕНИЯ ДЛЯ МИНИАТЮРИЗАЦИИ ОКОН ПРИЛОЖЕНИЙ В ОКОННОМ МЕНЕДЖЕРЕ COMPIZ

#### Введение

Задача манипулирования окнами в ситуации, когда их совокупная площадь существенно превышает разрешение устройства вывода, возникла почти одновременно с графическим интерфейсом пользователя. Один из ранних способов облегчить навигацию в таких условиях получил название иконификации – окно «сворачивалось» в пиктограмму

соответствующего приложения, снабженную поясняющей подписью. Впоследствии концепция получила альтернативное развитие. С ростом вычислительных возможностей процессоров и разрешающей способности экранов появились графические оболочки, отображавшие вместо пиктограммы скрытого окна его уменьшенное изображение. Хотя такой подход сопряжен с рядом технических трудностей, возможность видеть одновременно, хотя бы с уменьшенной детализацией, изображение всего рабочего пространства дает пользователю ощутимые преимущества [1, 2]. Особенно это актуально в среде динамически изменяющихся объектов, к которым относятся все многозадачные графические среды современных операционных систем.

Нами был разработан реализующий этот подход модуль расширения оконного менеджера Comriz [3], являющегося на сегодняшний день наиболее популярным компонентом аппаратно-ускоренных графических оболочек ОС GNU/Linux.

### Специфика аппаратно-ускоренного манипулирования окнами

Все современные аппаратно-ускоренные менеджеры окон (включая Comriz) используют возможности библиотеки OpenGL для передачи вычислительной нагрузки графическому акселератору. Одно из свойств OpenGL – объекты фреймбуфера – дает оконному менеджеру эффективный доступ к окнам неактивных приложений. Для приложения объекты фреймбуфера выглядят как обычные окна, а для оконного менеджера – как текстуры, которыми можно управлять с помощью обычных команд отрисовки мультитекстур (рис. 1).

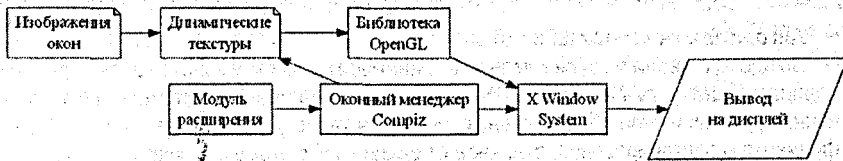


Рисунок 1 – Схема взаимодействия разработанного модуля с графической оболочкой и средствами поддержки аппаратно-ускоренной графики

Разработанный модуль расширения Comriz отрисовывает миниатюры окон на основе этой технологии [4].

Модуль состоит из трех функциональных частей: кода инициализации, обработчиков событий и сервисных функций. Код инициализации вызывается при загрузке модуля в память. При этом системе передаются указатели на конструкторы и деструкторы, вызываемые при создании и удалении контекста дисплея, каждого из соответствующих дисплею виртуальных экранов, и каждого из соответствующих виртуальному экрану окон. Доступ к контексту дисплея позволяет перехватывать события, экран дает возможность вклиниться в цепочку процедур обновления изображения, включающую подготовительную стадию, собственно отрисовку экрана (или экранов, если их несколько) и завершение отрисовки (рис. 2).

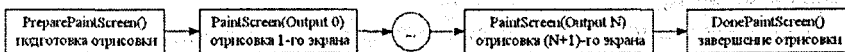


Рисунок 2 – Стадии отрисовки виртуальных экранов

Подготовительная стадия используется для выполнения различных подготовительных расчетов, например, для вычисления новых координат. В частности, в разработан-

ном модуле на этой стадии при ее первом прохождении выполняется загрузка в объекты текстур в памяти изображений, для их последующего вывода в качестве подложки миниатюризированных окон и формирования, таким образом, панели, на которой размещены миниатюры (рис. 3).

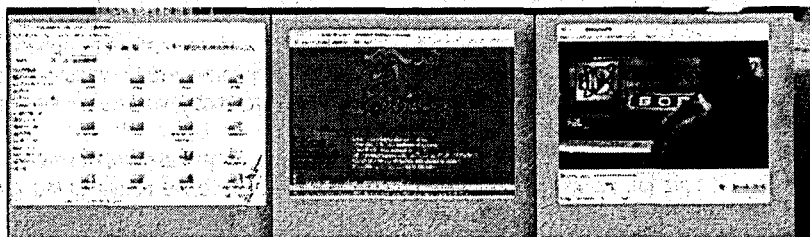


Рисунок 3 – Внешний вид реализованной панели с мини-окнами

Любой метод отрисовки в первую очередь должен вызывать базовую реализацию, обновляющую изображение экрана, а затем выполняет с полученным изображением любые действия, доступные средствами OpenGL; при этом он имеет доступ к устройству вывода, физическим координатам и всем открытым окнам, для каждого из которых существует соответствующая текстура. Стадия завершения отрисовки при необходимости используется для принудительной генерации события перерисовки экрана, благодаря чему выполняется отображение анимационных эффектов в реальном масштабе времени.

#### Алгоритм миниатюризации окон

В ходе активации модуля командой миниатюризации окна запоминаются прежние координаты окна, устанавливается новое значение координат в соответствии с предназначенной для мини-окон областью внизу экрана, а также устанавливается значение коэффициента масштабирования, отличное от единицы. По этому коэффициенту код модуля, обрабатывающий события отрисовки, отличает минимизированные окна от стандартных.

При инициализации экрана модуль закрепляет собственные обработчики за необходимыми событиями. Задействованы следующие основные обработчики событий:

PreparePaintScreen, вызывается непосредственно перед выполнением PaintWindow и производит необходимые подготовительные расчеты;

- PaintWindow, срабатывающий каждый раз при обновлении содержимого окна, проверяющий масштаб окна и, если оно должно быть миниатюризировано, вносящий изменения в его матрицу трансформации;
- DamageWindowRect, определяющий конкретный фрагмент экрана как требующий перерисовки (таким образом достигается дополнительное снижение аппаратных затрат по сравнению с полным обновлением экрана).

Также служебная функция, встроенная в цикл обработки событий, отслеживает щелчок мышью по мини-окну для возвращения его к единичному масштабу и прежним координатам на экране.

Изменение масштаба окна затрагивает только его изображение. Очевидно, что для самого окна при этом не происходит никаких изменений в размерах, иначе была бы нарушена обратная совместимость с существующими приложениями. Однако аналогичная ситуация с размерами окна сохраняется и для X-сервера. Поэтому с точки зрения системы все элементы управления окна сохраняют свои прежние координаты, и для взаи-

действия с этими элементами необходимо помещать указатель мыши в ту область экрана, где они находились бы, сохраняя окно единичный масштаб. Что еще более нежелательно, манипуляции мышью за пределами мини-окна должны приводить к активации его различных элементов.

Способ избежать рассогласования в координатах, реализованный в разработке, предполагает перехват событий мини-окна, связанных с указателем мыши. Это не позволяет взаимодействовать с элементами окна, но такая возможность для мини-окон и не требуется. События мыши, приходящиеся на область масштабированного изображения, обрабатываются разработанным модулем расширения Comriz (для подсветки мини-окна при движении указателя или перевода в немасштабированное состояние по щелчку), а остальные – блокируются. Данный механизм поддерживается непосредственно через расширение XShare, изначально предназначенное для приложений, использующих канал прозрачности для отображения окон непрямоугольной формы (события мыши, попадающие на внешние прозрачные участки окна, блокируются). Механизм известен как формирование входных сигналов и задействован в Comriz при реализации ряда стандартных модулей.

При этом для мини-окон остаются по-прежнему доступными события клавиатуры и смена фокуса стандартными средствами переключения окон, что позволяет в ряде случаев взаимодействовать с мини-окном без его возвращения к стандартному масштабу.

### Представление структур данных

Для хранения и доступа к информации о рабочих столах и окнах, расположенных на нем, используется ряд специализированных структур. Дисплею системы X Window соответствует структура mWinDisplay, хранящая в себе указатель на функцию – обработчик событий, а также массив индексов, адресующих имеющиеся экраны (рис. 4).

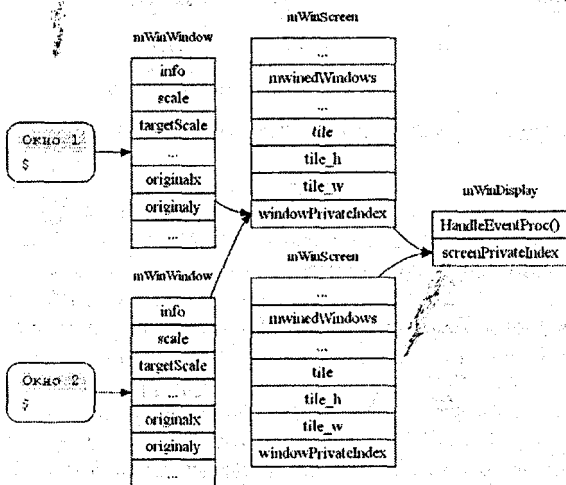


Рисунок 4 – Схема закрепления окон за каждым из рабочих столов

Каждому экрану соответствует структура mWinScreen. В данной структуре в числе другой служебной информации хранятся сведения о текстуре, отображающей подложку

панели мини-окон, а также индексный массив, адресующий каждое из имеющихся окон. Представлением окна для разработанного программного модуля является структура `mWinWindow`. Она содержит в себе исходные координаты окна и коэффициент масштабирования, отличный от единицы для мини-окон (а также промежуточный масштабный коэффициент для анимированного отображения процесса миниатюризации). Структура `mWinWindow` связана со стандартным типом, представляющим окно в `Compoz`, и может быть легко для него получена.

Панель мини-окон представлена в виде динамического односвязного списка, состоящего из структур `mWinedWindowInfo` (рис. 4). Элемент этого типа создается при миниатюризации окна и добавляется в конец списка. Он хранит координаты подложки мини-окна и ссылку на объект окна `Compoz`. Соответственно, каждый объект `mWinWindow` содержит в себе ссылку `info`, адресующую соответствующий ему элемент списка и, таким образом, позицию мини-окна в панели (см. окна 1-3 на рис. 4). Для неминиатюризованных окон данное поле является нулевым (см. окно 4).

После нажатия комбинации клавиш, активирующей миниатюризацию, размеры окна изменяются и измененная информация заносится в структуру `mWinedWindowInfo`, а начальные положение окна, его размеры, масштаб относительно миниатюры – в структуру `mWinWindow`. Эти данные далее будут использованы для восстановления окна из миниатюризованного состояния.

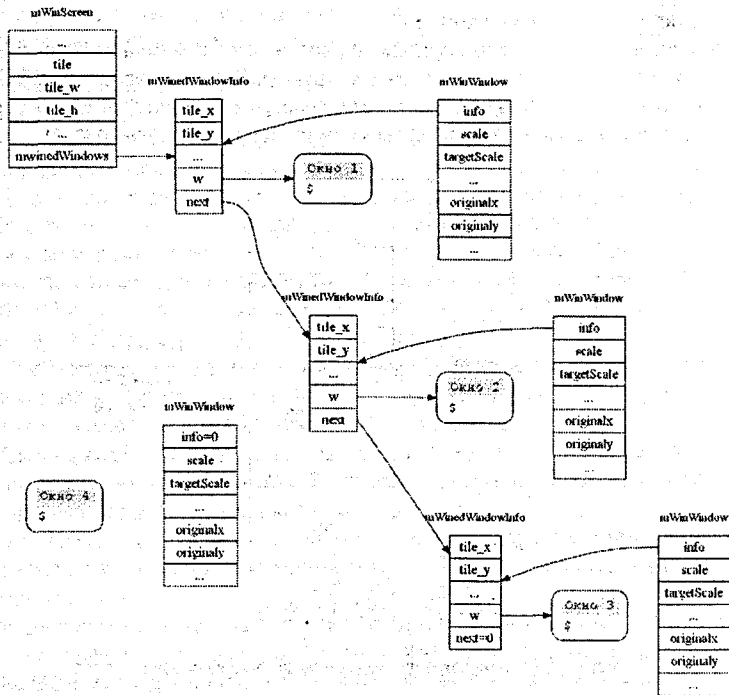


Рисунок 5 – Схема связи структур модуля

Как можно заметить на рис. 5, для отрисовки окна достаточно передать ссылку на структуру `mWinScreen`, и далее по ней можно найти все необходимые данные. Благодаря этому становится возможным независимое хранение окон на рабочих столах. Приведенная на рис. 1 схема связи программных частей модуля позволяет использовать мультиэкранный режим работы.

Несмотря на большое количество вычислений, постоянно производимых модулем при активном использовании панели миниатюр, это не нагружает центральный процессор, т.к. все функции аппаратно ускорены через библиотеку `OpenGL`. Для того чтобы еще понизить загрузку системы, при модификации панели мини-окон (например, разминиатюризации одного из окон) выполняется не полная, а частичная перерисовка экрана, соответствующая координатам изменившейся области.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Раскин Дж. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. – СПб.: Символ-Плюс, 2003. – 272 с.
2. Борушко, И.Н. Применение модели периферического зрения в графическом интерфейсе пользователя. Современные информационные компьютерные технологии: сб. науч. ст. / И.Н. Борушко, Е.В. Гоманова, Д.А. Костюк. – Гродно: ГрГУ, 2006. – С. 22-27.
3. Дёмин, В.В. Реализация модели динамических мини-окон в аппаратно-ускоренном графическом интерфейсе // Современные проблемы математики и вычислительной техники: материалы VI Республиканской научной конференции молодых ученых и студентов, Брест, 26-28 ноября 2009 г. – Брест: БрГТУ, 2009. – Ч. II. – С. 21-24.
4. Костюк, Д.А. Модель мини-окон с динамическим отображением в аппаратно-ускоренном графическом интерфейсе / Д.А. Костюк, В.В. Дёмин // Вестник БрГТУ. – 2009, №5 (59): Физика, математика, информатика. – С. 71-74.

УДК 004.514.62

*Дёмин В.В*

*Научный руководитель: доцент Дунец А.П.*

#### РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ РОБОТА ИГРОКА ДЛЯ ROBOSUP SOCCER SIMULATION SERVER

##### Введение

RoboSup – международные соревнования среди роботов, основанные в 1993 г. Официальная цель проекта – к середине XXI-го века команда полностью автономных человекоподобных роботов-футболистов должна выиграть футбольный матч, соблюдая правила FIFA, у победителя Чемпионата мира.

Simulation league – это часть проекта RoboSup, которая направлена на моделирование игры в простейшем 2D-варианте, без относительно реальных реализаций роботов-футболистов.

В лиге симуляции принимают участие две команды с одинадцатью автономными программами (которые называют агенты), играющие в футбол на двухмерном виртуальном стадионе, который предоставляется центральным сервером под названием SoccerServer. На сервере содержится вся необходимая информация об игре, такая как позиции игроков и мяча, физика, направления игроков и другие параметры и свойства виртуального мира. Игра основана на сообщениях между сервером и агентами. С одной стороны, каждый игрок получает данные с его виртуальных сенсоров (визуальные, аку-

стические и физические), а с другой, может формировать некоторые базовые команды (ускорение, поворот, удар) в целях оказания воздействий на окружающую среду.

При построении своей реализации агента-игрока были рассмотрены программные модули различных команд, занимавших в последние года места в топ-10 чемпионата мира Robocup.

### **Структура агента-игрока**

Как и любой другой программный продукт, робот-агент должен содержать ряд модулей. Специфика Robocup SoccerServer заключается в том, что агент должен уметь буквально всё: от возможности отправлять и принимать сообщения посредством UDP-сокетов, алгоритмов управления поворотом направления обзора относительно расположения мячика на поле до алгоритмов коллективного поведения. Всё это приводит к явному разделению модуля агента на три уровня:

- Низкоуровневая логика – простейшие действия, такие как поворот агента на угол, отправка/принятие сообщения от сервера, служащие в первую очередь основой для более сложных действий. Этот уровень является абстракцией, драйвером скрывающим от программиста низкоуровневую реализацию и дающий возможность работать непосредственно с действиями робота-игрока, т.е. манипулирование им.

- Среднеуровневая логика – представляет собой наборы из действий низкоуровневой логики. Каждое действие среднеуровневой логики направлено на решение какой-либо ситуации, происходящей с роботом: оценка ситуации, исполнения какого-либо действия (удар, отбор мяча, ловить мяч в воротах). Сами по себе эти действия уже составляют серьёзную базу, и на их основе возможно полноценное функционирование команды.

- Высокоуровневая логика – это алгоритмы коллективного поведения, искусственного поведения, а также список предписаний для агентов при различных ситуациях на поле, представляющий комплексный подход в решении данной задачи. Если вышеописанные уровни, как правило, совпадают или мало различаются у большинства команд, то высокоуровневая логика является концептуальной задачей для каждой команды, т.к. это и есть реализация «мозгов» команды.

### **Особенности Robocup Soccer Simulation Server**

Для того, чтобы лучше понять, для какой системы будет вестись разработка, следует дать более подробное описание программного обеспечения, используемого в лиге симуляции.

Robocup Soccer Simulator Server – это исследовательская и обучающая среда для мультиагентных систем и искусственного интеллекта. Среда позволяет двум командам с 11-ю программными автономными роботами играть в футбол. Сам сервер представляет собой сервер и набор утилит и имеет следующую структуру:

- Сервер – непосредственно сам сервер;
- Мониторы – программы, служащие для визуализации происходящего на поле в реальном времени, так же служат для отладки агентов-игроков;
- Агенты-игроки – модули команд-соперников, предоставляющих по 11 виртуальных агентов с каждой стороны поля;
- Тренеры – виртуальные агенты, с возможностью обзирать всё поле одновременно. Их месторасположение – бровка поля, как и у тренеров в настоящем футболе.



Тренер является важной частью каждой команды и способствует более координированному её поведению;

- Лог игрока – программа предоставляет возможность вести лог всех действий на сервере, тем самым предоставляя возможность просмотреть ещё раз игру и более тщательно отгестировать модули агента-игрока.

Сервер – это программа, с помощью которой различные команды могут играть в футбол. На время игры он представляет собой клиент-серверную систему, где не имеет значения, как сделаны программы-игроки. Единственное требование к их реализации это использование связи с сервером посредством протокола UDP/IP. Это следует из того, что все сообщения между сервером и клиентом (агентом-игроком) исполнены через UDP-сокеты. Каждый клиент представляет собой отдельный процесс и подсоединяется к серверу через специальный порт. После соединения с сервером все сообщения между ними происходят только через этот порт. Каждая команда может иметь до 12 клиентов, 11 агентов-игроков (10 полевых и 1 вратарь) и тренера. Игроки посылают серверу сообщения с действиями, которые они хотят выполнить (ударить мяч, повернуться, бежать и т.д.). Сервер, получая эти сообщения, выполняет запросы и обновляет информацию о среде, соответственно. Также сервер обеспечивает всех игроков сенсорной информацией (визуальной – позиция объектов на поле или данные о физических свойствах игрока, таких как выносливость или скорость).

Сервер работает в режиме реального времени. Время делится на дискретные временные интервалы – циклы. Таким образом, низкая производительность игроков, приводит к пропуску действий, что очень сильно влияет на результат команды в целом.

Последняя версия сервера, на дату написания данной статьи, является 14.0.3. Основной проблемой в исследовании сервера и написания основных модулей агента является недоработанная документация. В результате большинство команд начинает свои исследования с разбора и модернизирования исходных кодов уже готовых реализаций. И, как правило, их собственные реализации основываются на исходном коде низкоуровневой и среднеуровневой логики.

Монитор представляет собой средство визуализации, которое позволяет наблюдать, что же происходит на поле внутри сервера в течение игры. В настоящий момент есть две реализации монитора `gcssmonitor` – написанной с использованием библиотеки Qt4 и `gcssmonitor_classic`, использующий для вывода графической информации на экран фреймбуфер. Информация, предоставляемая на экране, содержит счет, названия команд и позиции всех игроков и мяча. Так же монитор содержит простейшие команды управления сервером. Например, когда обе команды присоединены, кнопка «Kick-Off» (вбросить мяч) в интерфейс монитора позволяет человеку-судье начать игру.

Основные особенности монитора:

- Возможно приближать различные участки поля. Это свойство обычно используют для отладки программ и поиска ошибок в реализации;
- Положение каждого игрока на поле и мяча может выводиться в консоль, в каждый цикл сервера;
- Различного вида информация может быть отображена на мониторе, такая как угол обзора, выносливость, вид игрока;
- Игроки и мяч могут быть перемещены с помощью мышки.

На самом деле функционирование сервера не зависит от наличия подсоединенного монитора. В том случае, если он необходим, определенное количество мониторов соединяется с сервером одновременно.

Программу лог игрока можно представить как видеосъемку. Это утилита для проигрывания прошедших матчей. Когда запущен сервер, есть возможность задать ему опцию сохранения данных на жесткий диск. Когда лог игрока используется вместе с монитором, появляется возможность просматривать матч столько раз, сколько это необходимо. Это очень полезная утилита, позволяющая наглядно изучать стратегии соперников, их минусы и плюсы. А также оценивать свои возможности, поиск дырок в оборонной тактике или недостатков в нападающей. Также лог игрока представляет возможность каждой команде сохранять свою игру и далее легко вставлять в свои презентации.

### **Алгоритмы игрока**

Для достижения быстрого результата и более глубокого ознакомления с аспектами программирования для сервера симуляции было решено взять открытый код чужой команды. На сегодняшний день есть несколько реализаций агентов-игроков, имеющих популярность у команд-новичков. Многие из них были проанализированы и был выбран вариант, наиболее подходящий составленной логической схеме работы модуля.

За основы низкоуровневых и среднеуровневых алгоритмов была взята реализация агента-игрока команды UvA Trileam университета Амстердама. Она имеет ту же концепцию равноуровневой структуры организации модуля игрока, которая была принята в реализации данной работы.

#### **1. Низкоуровневые методы**

В данной статье нет возможности описать полностью все классы и методы, реализованные в ходе разработки и перенятые с других исходных кодов. Поэтому следует кратко описать основные реализованные функции.

За соединение с сервером отвечает класс Connection, в котором реализованы функции подсоединения, отсоединения, отправки информации серверу. Все данные передаются и принимаются посредством UDP-сокетов. За получение необходимой информации из сообщений создан класс Parse, содержащий всевозможные методы для разделения сообщения на части.

Реализацией основных функций игрока и основных функций тренера являются классы BasicPlayer и BasicCoach соответственно. Здесь реализован весь функционал, который используется в более высокоуровневых методах.

Абстрактным классом для представления объектов на поле является класс Object. Он является базовым для всех объектов и содержит методы получения информации и задания данных объектам. Классы-наследники Object это DynamicObject и FixedObject, где первый описывает объекты, которые могут перемещаться за момент времени по игровому полю, второй – статические объекты, такие как флаги на углах поля, линии разметки, ворота. Несмотря на то, что эти два класса можно также отнести и к среднеуровневой логике, их методы, в основном, представляют простейшие действия, используемые для построения более сложных комбинаций.

#### **2. Среднеуровневые методы**

На основе вышеописанных классов строятся более сложные классы. Среднеуровневые методы – это комбинации низкоуровневых методов, или более сложные действия.

Одним из таких классов является VecPosition. Он содержит  $x$  и  $y$  позиции, с помощью которых может рассчитывать расстояния до других объектов их направления и т.д. Все, что связано с навигацией агента-игрока, реализуется в этом методе.

Класс Stamina отвечает за своевременный отдых игрока и не позволяет ему экономить силы во время игры.

Класс Time представляет и реализует методы мониторинга времени сервера для своевременной реакции на задержки в работе модуля. Это производится также за счёт класса Timing, реализующего внутренний таймер агента. Основной необходимостью данных классов и их взаимодействия является ограничение по времени одного цикла симуляции. Его длительность составляет 300 мс. И если за это время от агентов не пришло ни одного сообщения или команды, то в следующей итерации ничего не произойдет и агенты останутся на своих местах. Чтобы не допустить такой ситуации, очень важно вовремя её отследить и начать использовать более простые алгоритмы, требующие меньше процессорного ресурса.

BallObject и PlayerObject представляют классы – наследники DynamicObject и описывают объект мяча и объект игрока соответственно.

### 3. Высокоуровневые методы

Высокоуровневые методы сами по себе очень интересны, так как именно в их реализации разработчик может использовать то, что хочет именно он. Единственное ограничение – это сам разработчик.

В рамках данной работы были реализованы простейшие алгоритмы высокоуровневой логики футболиста. Все они реализованы в классе Player. На данном этапе высокоуровневые методы представляют собой стандартные алгоритмы поведения, в зависимости от окружающей ситуации и позиции на поле. Но при этом отдельно разработаны алгоритмы для полевого игрока и вратаря.

### Перспективы развития

При реализации модуля агента-игрока были использованы простейшие высокоуровневые алгоритмы, для тестирования его функциональности. Была рассмотрена концепция создания простейшего автономного робота-футболиста для виртуального мира. В перспективах развития команды по виртуальному футболу предстоит произвести следующие модернизации:

- оптимизация кода низкоуровневой логики;
- добавление дополнительного специфического функционала;
- модернизация высокоуровневой логики:
  - разработка алгоритмов поведения для различных ситуаций;
  - применение подкрепляющего обучения для неизвестных ситуаций;
  - разработка комбинаций для нападения и защиты;
  - применение аппарата нечеткой логики.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Noda, I., Matsubara, H. Soccer server and researches on multi-agent systems. In Kitano, H., ed.: Proceedings of IROS-96 Workshop on RoboCup. (Nov. 1996) 1–7
2. Peter S. Layered Learning in Multi-agent System [D]. Pittsburgh: school of computer science, Carnegie Mellon University, 1998
3. M. Riedmiller and Artur Merke. Using machine learning techniques in complex multiagent domains / In I. Stamatescu, W. Menzel, M. Richter and U. Ratsch, editors, Perspectives on Adaptivity and Learning, LNCS, Springer, 2002.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОРЕЗИСТОРОВ

К основным характеристикам фоторезисторов можно отнести вольт-амперную, световую (или люкс-амперную) и спектральную характеристики.

*Вольт – амперная (ВАХ)* представляет собой зависимость светового тока  $I_{св}$  при неизменном световом потоке, а также темнового тока  $I_{тем}$  от приложенного к фоторезистору напряжения. В рабочем диапазоне напряжения ВАХ фоторезисторов при различных значениях светового потока практически линейны. Однако у большинства плёночных фоторезисторов с фоточувствительным слоем из поликристаллического полупроводникового материала линейность ВАХ нарушается при малых напряжениях. Эта нелинейность связана с явлениями на контактах между отдельными зёрнами или кристаллами полупроводника. При малых напряжениях сопротивление фоторезистора определяется в основном сопротивлением этих контактов. Напряжение, приложенное к фоторезистору, падает в основном на контактах между зёрнами полупроводника. Поэтому напряжённость электрического поля на контактах получается большой даже при малых напряжениях на фоторезисторе. В связи с этим при увеличении приложенного напряжения сопротивление контактов уменьшается либо из-за эффектов сильного поля (например, туннелирование сквозь тонкие потенциальные барьеры на контактах), либо из-за разогрева приконтактных областей отдельных зёрен полупроводника. При дальнейшем увеличении напряжения сопротивление фоторезистора определяется уже объёмным сопротивлением зёрен полупроводника и поэтому остаётся постоянным, что соответствует линейному участку ВАХ [1].

При больших напряжениях на фоторезисторе ВАХ опять может отклоняться от линейной. Это связано с повышением температуры всего фоточувствительного слоя из-за большой выделяющейся мощности.

*Световая, или люкс – амперная, характеристика фоторезистора* представляет собой зависимость фототока  $I_{ф} = I_{св} - I_{тем}$  от освещённости или от падающего на фоторезистор светового потока. Фоторезисторы имеют обычно сублинейную световую характеристику. Сублинейность световой характеристики объясняется смещением демаркационных уровней, или квазиуровней Ферми, для электронов и для дырок с увеличением отклонения от равновесного состояния при увеличении освещённости. Электронный демаркационный уровень (квазиуровень Ферми для электронов) смещается к зоне проводимости в результате увеличения концентрации свободных электронов, дырочный демаркационный уровень (квазиуровень Ферми для дырок) одновременно смещается к валентной зоне из-за увеличения концентрации дырок. Вследствие смещения демаркационных уровней часть уровней ловушек захвата становится уровнями рекомбинационных ловушек. С ростом концентрации рекомбинационных ловушек уменьшается время жизни носителей заряда, что и является первой причиной сублинейности световой характеристики. Закономерности возрастания фототока от освещённости различны у различных фоторезисторов и определяются концентрацией тех или иных примесей в полупроводнике и распределением примесных уровней по запрещённой зоне энергетической диаграммы полупроводника:

Второй причиной, приводящей к сублинейности световой характеристики фоторезистора, является уменьшение подвижности носителей заряда при увеличении освещённости из-за увеличения концентрации ионизированных атомов в полупроводнике и, следовательно, из-за увеличения рассеяния носителей заряда ионизированными атомами.

*Спектральная характеристика фоторезистора* – это зависимость фототока от длины волны падающего на фоторезистор света. При больших длинах волн, т.е. при малых энергиях квантов света по сравнению с шириной запрещённой зоны полупроводника, энергия кванта оказывается недостаточной для переброса электрона из валентной зоны в зону проводимости. Поэтому для каждого полупроводника и соответственно для каждого фоторезистора существует пороговая длина волны (наибольшая), которую обычно определяют как длину волны, соответствующую спаду фототока на 50% со стороны больших длин волн.

При малых длинах волн с уменьшением длины волны падающего на фоторезистор света растёт показатель поглощения. Поэтому глубина проникновения квантов света в полупроводник уменьшается, т.е. основная часть неравновесных носителей заряда возникает вблизи освещаемой поверхности фоточувствительного слоя. При этом увеличивается роль поверхностной рекомбинации и уменьшается среднее время жизни неравновесных носителей. Таким образом, спектральная характеристика имеет спад и при малых длинах волн.

Различные полупроводники имеют ширину запрещённой зоны от десятых долей до 3 эВ. Максимум спектральной характеристики различных фоторезисторов может находиться в инфракрасной, видимой, или ультрафиолетовой частях электромагнитного спектра [2].

Для определения основных характеристик фоторезистора СФ-БЗ была собрана установка, состоящая из источника постоянного тока (ИПТ); магазина сопротивлений; осветительной лампы; фоторезистора; амперметра; люксметра; автотрансформатора.

С помощью данной установки были измерены вольтамперная, световая и спектральная характеристики фоторезистора СФ-БЗ.

Для измерения вольтамперной характеристики фоторезистора устанавливаем на магазине сопротивлений значение  $R = 2 \text{ кОм}$  и с помощью люксметра значение освещённости  $E = 200 \text{ лк}$ . Изменяя с помощью источника постоянного тока (ИПТ) напряжение  $U$  от 0 до 1,4 В через 0,2 В на участке цепи, состоящем из сопротивления  $R$  и фоторезистора, измеряем при каждом значении  $U$  силу тока в цепи  $I$ . Используя полученные данные, строим график зависимости  $I(U)$ , т.е. вольт-амперную характеристику нелинейного участка цепи (ВАХ). Убеждаемся, что в рабочем диапазоне напряжения ВАХ фоторезисторов при различных значениях светового потока практически линейны.

#### *Получение световой характеристики исследуемого фоторезистора*

Устанавливаем на магазине сопротивлений значение  $R = 0 \text{ Ом}$ . С помощью источника постоянного тока устанавливаем напряжение на фоторезисторе  $U = 0,5 \text{ В}$ . С помощью авто-трансформатора изменяем освещённость от 0 до 500 лк с шагом 50 лк, измеряя при каждом значении освещённости  $E$  силу тока  $I_\phi$  ( $U_\phi = \text{const}$ ). Строим график зависимости  $I_\phi(E)$  (рисунок 1). Те же измерения проводим при значении напряжения 1 В.

#### *Строим график зависимости $I_\phi(E)$*

$U = 0,5 \text{ В}$

$E, \text{ лк}$	0	100	150	200	250	300	350	400	450	500
$I, \text{ мА}$	0	90	120	140	160	175	190	215	215	225

$$U = 1 \text{ В}$$

Е, лк	0	100	150	200	250	300	350	400	450	500
I, мА	0	98	130	175	190	210	225	240	255	265

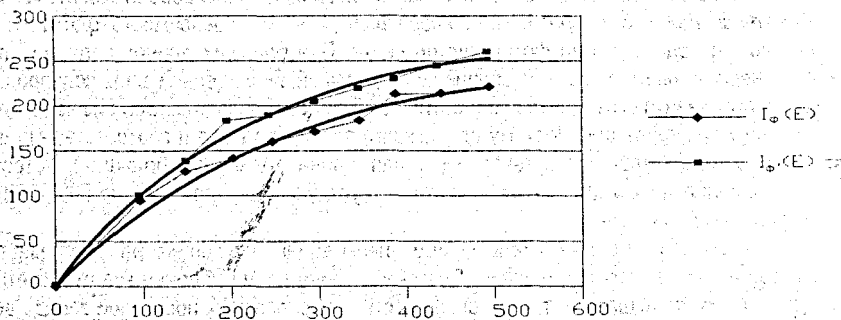


Рисунок 1 – Световая характеристика фоторезистора СФ-Б3

### Получение спектральной характеристики фоторезистора

Устанавливаем на магазине сопротивлений значение  $R = 0 \text{ Ом}$ . С помощью источника постоянного тока (ИПТ) устанавливаем напряжение на фоторезисторе  $U = 0,4 \text{ В}$ . Изменяя с помощью светофильтров длину волны света от  $\lambda_{\text{ф}}$  до  $\lambda_{\text{кф}}$ , измеряем при каждом значении длины волны  $\lambda$  силу тока  $I$  и освещенность  $E$ . Строим график зависимости фототока от длины волны падающего на фоторезистор света  $I(\lambda)$ . Для построения спектральной характеристики фоторезистора на графике зависимости  $I(\lambda)$  строим график зависимости освещенности  $E$  от длины волны  $\lambda$  ( $E(\lambda)$ ), а затем делим ординаты первой кривой на соответствующие ординаты второй кривой. Результирующая кривая  $I/E(\lambda)$  и будет являться спектральной характеристикой фоторезистора (рисунок 2)

Свет	$\lambda$ , мкм	Е, лк	I, мА	$I/E$ , мА/лк
фиолетовый	400	30	190	6,3
синий	490	110	250	0,27
зеленый	600	70	5	0,07
желтый	650	400	260	0,65
оранжевый	690	300	265	0,88
красный	760	150	245	1,76

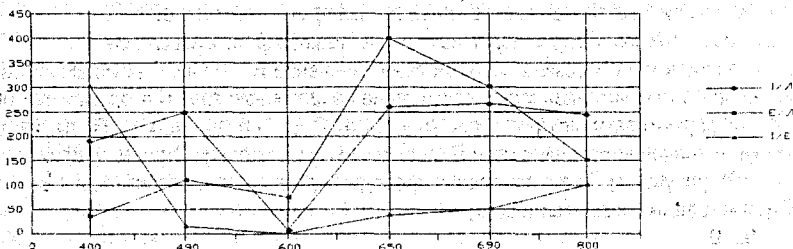


Рисунок 2 – Спектральная характеристика фоторезистора СФ-Б3

Световая характеристика получена для двух значений напряжения. Мы убедились в сублинейности световой характеристики, т.к. при увеличении освещённости увеличивается рост концентрации рекомбинационных ловушек и уменьшается время жизни носителей заряда, а также подвижность носителей заряда. При увеличении напряжения фототок возрастает. Спектральная характеристика фоторезистора исследована для пяти различных длин волн. При малых длинах волн с уменьшением длины волны падающего на фоторезистор света растёт показатель поглощения. Поэтому глубина проникновения квантов света в полупроводник уменьшается, т.е. основная часть неравновесных носителей заряда возникает вблизи освещаемой поверхности фоточувствительного слоя. При этом увеличивается роль поверхностной рекомбинации и уменьшается среднее время жизни неравновесных носителей. Таким образом, спектральная характеристика спектральной характеристика имеет спад при длине волны 490 и 600 нм. Максимум спектральной чувствительности для исследуемого фоторезистора лежит в пределах 650 нм.

С нашей точки зрения, проведенные исследования основных характеристик фоторезистора способствует более глубокому пониманию физических основ работы прибора, активизируют познавательную деятельность, развивают творческое и инженерное мышление будущих специалистов.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Епифанов, Г.И. Физика твёрдого тела. – М.: Высшая школа, 1977. – С. 168-173.
2. Пасынков, В.В. Полупроводниковые приборы / В.В. Пасынков, В.В. Чиркин. – М.: Высшая школа, 1987. – С. 378-393.

УДК 004.896

*Дунец И.П.*

*Научный руководитель: д.т.н., профессор Головкин В.А.*

## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ МИРА МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

### ВВЕДЕНИЕ

В современной робототехнике высокую актуальность имеет проблема восприятия роботом окружающего мира с целью выделения и обработки им той части данных, которая имеет непосредственную ценность для его эффективного функционирования. Этот процесс невозможен без фильтрации, обработки и хранения роботом данных, получаемых из окружающей среды через его сенсоры. Результатом работы этого процесса являются объекты, отражающие представление робота об окружающем мире и формирующие модель мира робота. Несмотря на существенную разницу между различными типами роботов и большое количество способов организации их систем сенсорики, можно выделить ту общую часть, которая будет присуща именно мобильным роботам – отражение в модели мира возможных или невозможных для движения областей.

### ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМНЫЕ ОБЛАСТИ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ МИРА

Эта задача включает в себя множество проблемных областей, основными и наиболее актуальными являются:

- 1) глобальное позиционирование робота;

- 2) обработка данных, поступающих с сенсоров, с целью выявления объектов мира;
- 3) способ представления модели мира.

Решение любой из перечисленных задач невозможно в общем случае и требует предварительного исследования конкретных условий применения. В данной работе в качестве робота будет рассматриваться мобильный колесный робот, предназначенный для проведения работ внутри помещения, так называемый indoor robot. В данной статье предлагается рассмотреть эти ключевые проблемы.

Естественно, кроме обозначенных проблем, существует множество других проблем, возникающих при разработке подобного рода систем, таких как слежение за объектами, распознавание движущихся объектов, оценка параметров их движения и многие другие, но их высокая изученность делает их менее привлекательными для исследований.

## **ПРОБЛЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА**

Одной из наиболее значимых проблем навигации мобильных роботов является определение его положения в пространстве. Наиболее остро эта проблема стоит для роботов, работающих в помещениях, в то время как для роботов, использующихся при работах на открытых площадках, эта проблема решена за счет спутниковых систем навигации, таких как GPS или ГЛОНАСС[1]. Невозможность применения технологий спутниковой навигации для роботов, работающих в помещениях, заключается в низкой точности позиционирования объектов, заявленные погрешности которых не менее 1 м, что не допустимо для использования в условиях небольших помещений. Проблемы, возникающие при использовании других методов позиционирования робота, такие как использование радиомаяков или инфракрасных маяков, требуют высоких затрат на аппаратную часть и нуждаются в долгой предварительной подготовке.

В качестве метода позиционирования мобильного робота в окружающем мире предлагается использовать метод детектирования положения и ориентации робота с помощью системы распознавания данных, получаемых с охранных камер, которая была предложена на основе ранее проведенных исследований [2]. Предлагаемый метод основан на распознавании паттерна (специальной метки), нанесенного на корпус робота, позволяющего не только позиционировать робот, но также определить его ориентацию в пространстве. Предлагаемый подход не универсален, но он применим в случае наличия достаточного числа камер и отсутствии требований перевозки роботом грузов, закрывающих паттерн.

Разрабатываемый модуль глобального позиционирования включает в себя следующие функциональности:

- 1) калибровка камеры;
- 2) определений положения камеры в пространстве;
- 3) пересчет координат пикселя на изображении в координаты глобального пространства;
- 4) распознавание паттерна.

Данная функциональность позволяет проводить настройку модуля в полуавтоматическом режиме; когда от пользователя требуется размещать паттерн перед камерой, предварительно задав его координаты в глобальном пространстве.

Выходными данными модуля являются координаты геометрического центра робота в пространстве и его направление, заданное в виде угла. В случае применения другого способа позиционирования робота, данный модуль может быть легко заменен без изменения основной части системы.



## **ПРИМЕНЯЕМАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

Используемая система технического зрения состоит из модулей глобального и локального технического зрения [3]. Система глобального зрения выполняет задачу определения положения мобильного робота в пространстве и описана в пункте 2. Система локального зрения используется для получения данных об окружающем мире и включает в себя все данные с сенсоров, доступных роботу, иными словами, система позволяет использовать не только размещенные на роботе сенсоры, а еще и сенсоры, размещенные во внешней среде.

Для обработки данных, поступающих с сенсоров робота, применяется метод, основанный на построении модели робота, содержащей сенсоры с описанием их типов и характеристик, а также определяющей их геометрическое расположение и ориентацию. В программной реализации каждый тип сенсора имеет свой класс, с присущими ему особенностями, а каждый сенсор, включаемый в модель, представлен объектом этого класса, хранящим параметры конкретного физического сенсора. Применение такой модели позволяет упростить процесс подготовки к использованию нового робота, а также позволяет устранить зависимость системы от архитектур, используемых роботов. Также модель содержит геометрическое положение паттерна на корпусе робота.

Модель робота обладает следующей функциональностью:

- 1) получение данных с сенсоров;
- 2) предварительная обработка данных, поступающих с каждого сенсора;
- 3) пересчет данных, полученных с сенсоров, в координаты локальной модели мира;
- 4) передача данных модулю построения модели мира.

Выходными данными модуля является информация об окружаемом мире, прошедшая предобработку, исходя из особенностей функционирования каждого из сенсоров, которая интегрирована в локальную модель мира робота.

## **МОДЕЛЬ МИРА МОБИЛЬНОГО РОБОТА**

В разрабатываемой системе модель мира мобильного робота включает в себя два уровня представления: локальная и глобальная модель мира.

Глобальная модель мира хранит сведения обо всех перемещениях робота и содержит данные о текущем местоположении робота. Так же глобальная модель мира хранит карту мира в виде непроходимых участков и ключевых точек, задаваемых пользователем или распознаваемых роботом при наличии соответствующих датчиков. На основе хранимых данных в глобальной системе мира происходит построение траекторий движения робота, используемых в модуле навигации.

Локальная модель мира хранит в себе данные, поступающие с модели робота. Основной задачей локальной модели является выделение объектов окружающего мира и их классификация на статические или динамические объекты, исходя из них – способности к перемещению. Так же в задачи локальной системы входит отслеживание объектов, соотнесение получаемых данных с уже распознанными объектами.

## **ОБЩАЯ СХЕМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ**

В предложенной системе можно выделить следующие модули:

- 1) модуль глобального зрения, на рисунке 1 обозначен как блок глобального позиционирования робота;
- 2) модуль локального зрения, на рисунке 1 представлен в виде блоков: сенсоры, предобработка и модель робота;

- 3) модуль глобальной модели мира, глобальная модель мира на рисунке 1;
- 4) модуль локальной модели мира, на рисунке 1 представлен в виде блоков: локальная модель мира, формирование объектов, статические объекты и динамические объекты;
- 5) модуль навигации, навигация на рисунке 1.

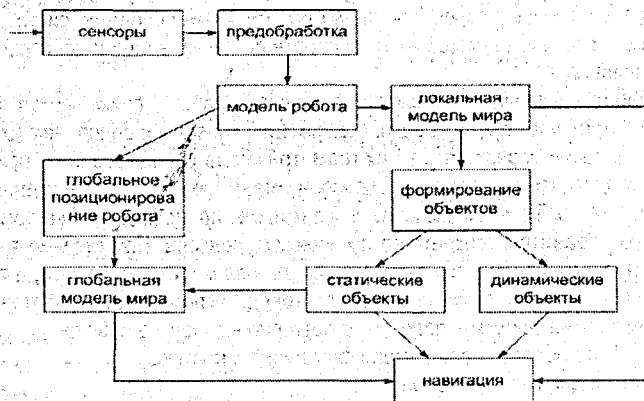


Рисунок 1 – Схема функционирования системы

Общий алгоритм функционирования системы выглядит следующим образом:

- 1) модуль локального зрения опрашивает сенсоры и формирует набор данных для модуля локальной модели мира, обновляющего локальную модель мира;
- 2) после обновления данные из локальной модели мира интегрируются в глобальную модель исходя из положения робота, полученного от модуля глобального зрения;
- 3) модуль навигации принимает решение о необходимости изменения траектории движения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение предлагаемой системы построения модели мира робота возможно, несмотря на имеющийся ряд ограничений, описанных в пункте 2, в таких областях прикладной робототехники, как охранные роботы или роботы-уборщики. Одним из основных преимуществ разрабатываемой системы является ее высокая модульность, позволяющая легко модифицировать систему в связи с особенностями применения в конкретных условиях.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Dixon, J. An Overview of Global Mobile Robot Navigation: Global Positioning. [http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise\\_97/journal/vol1/jmd/](http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol1/jmd/)
2. Дунец, И.П. Принципы работы системы детектирования автономного мобильного робота и препятствий для его движения // Современные проблемы математики и вычислительной техники: материалы VI Республиканской научной конференции молодых учёных и студентов, Брест, 26-28 ноября 2009 г. – Брест: БрГТУ, 2009. – С. 38-41.
3. HE Hagen, Timofeev A.V., XU Xin. On-line Local Monitoring and Adaptive Navigation of Mobile Robots on Environment with Unknown Obstacles. Proceedings of ACAT 2002. – Moscow, 2002. – S. 54-56.

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В СИСТЕМАХ САМООБУЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

### ВВЕДЕНИЕ

С развитием робототехники все больший интерес уделяется проблемам самообучения роботов. Данная проблемная область представляет большой интерес для исследователей по причине широкого спектра применения интеллектуальных подходов к ее решению. Наибольшую актуальность в области самообучения имеет проблема движения робота по заданной траектории. В первую очередь это связано с высокими погрешностями, возникающими при управлении движением мобильного робота на основе математической модели, рассчитанные на идеальные условия окружающего мира и механики мобильного робота. Применение же интеллектуальных, адаптивных систем дает возможность подстройки кинематического аппарата робота под особенности движения в конкретных условиях.

В данной статье к рассмотрению предлагается способ организации системы сбора и анализа статистики о передвижениях мобильного робота на основе системы технического зрения.

### ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ

Система включает в себя аппаратную и программную части. В аппаратную часть включается одна или более цифровых видеокамер. Использование нескольких камер увеличивает точность измерений, но это влечет повышение вычислительных затрат. Кроме того, к аппаратной части также относится сам мобильный робот с нанесенными на его поверхность метками для распознавания положения мобильного робота. К программной части системы относятся следующие модули:

- 1) детектирования, основанный на распознавании паттернов (визуальных меток) (см. рис. 1) и анализе движений объектов, разработанный в ходе ранее проведенных исследований [1];
- 2) обработки данных, проводящий сравнение введенной эталонной траектории с реальными данными;
- 3) интерфейс взаимодействия с пользователем и системой обучения.

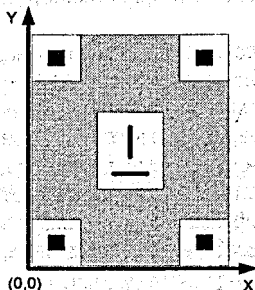


Рисунок 1 – Вариант расположения паттернов на корпусе робота

Остановимся подробнее на используемых в системе модулях и их информационном взаимодействии, отображенном на рисунке 2.

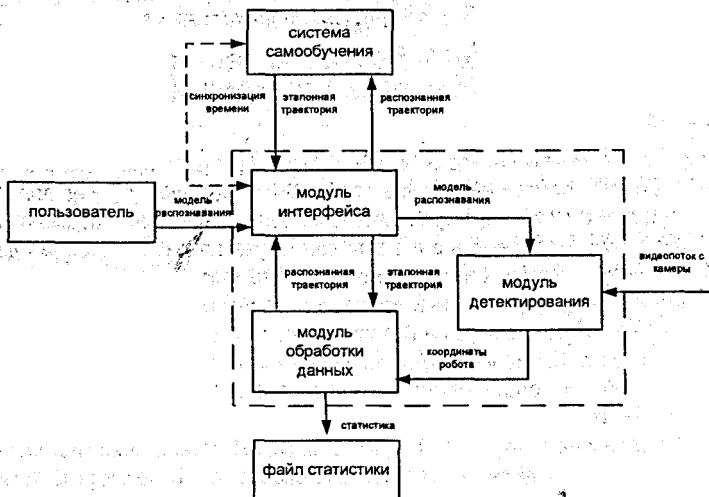


Рисунок 2 – Схема информационного взаимодействия модулей системы

Модуль детектирования предназначен для определения положения и направления мобильного робота в пространстве. Для его функционирования требуется задание модели распознавания робота в виде геометрии корпуса робота и определения геометрического положения распознаваемых паттернов. Алгоритм функционирования модуля предваряется заданием распознавания робота пользователем модели, состоит из следующих этапов:

- 1) распознавание паттернов на основе поиска прямоугольников на изображении с последующим восстановлением их геометрии согласно построенной модели распознавания [1];
- 2) выявление движущихся областей на основе анализа видеопотока [1];
- 3) соотнесение данных, полученных в пункте 1, с данными, полученными в пункте 2, с возможной последующей корректировкой значений;
- 4) расчет геометрического центра и ориентации робота, передача данных модулю обработки.

Завершение работы модуля осуществляется по команде пользователя системы.

Модуль обработки данных обладает следующей функциональностью:

- 1) сравнение эталонных и реальных данных, полученных от модуля распознавания;
- 2) сбор и сохранение данных, посылаемых для управления роботом в виде значений: команда управления, эталонные данные, реальные данные.

Модуль интерфейса позволяет пользователю задавать модель распознавание робота. Кроме этого, модуль интерфейса проводит визуализацию процесса обучения. С пользовательской системой самообучения модуль интерфейса обменивается следующими данными:

- 1) отсылает эталонное значение, полученное при моделировании;

2) отсылает команду, посланную для движения, мобильному роботу;

3) получает результат в виде реального перемещения робота.

Кроме этого, разрабатываемая система предлагает дополнительную функциональность в виде синхронизации с системой самообучения по времени, что позволяет выявлять и анализировать возникающие задержки работы систем.

### **ПОДГОТОВКА ДЛЯ РАБОТЫ С СИСТЕМОЙ**

Для начала работы с системой пользователю необходимо задать модель распознавания робота. От пользователя требуется ввести габариты робота, количество и координаты центров квадратных паттернов, а также координаты левого верхнего угла паттерна, расположенного в центре на рисунке 1. Под координатами понимаются плоские координаты с точкой отсчета, взятой за левый нижний угол робота (см. рис. 1).

От пользователя требуется так же добавить в систему самообучения функциональность, позволяющую передавать эталонную и получать реальную траекторию робота. Кроме этого, возможно добавление функциональности проводящей синхронизацию внутреннего времени работы систем. Для синхронизации используется алгоритм, состоящий из двух шагов.

На последнем этапе пользователь калибрует камеру, с помощью паттерна шахматной доски, стандартного для калибровки. Для пользователя процесс калибровки заключается в перемещении доски в плоскости пола в пределах видимости камеры. На основе полученных данных модуль детектирования производит автоматическую проекцию координат распознаваемых паттернов в плоскость пола [2].

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предлагаемая система может применяться не только для автоматизации систем самообучения мобильных роботов, так же возможная область применения системы – калибровка кинематического аппарата роботов, разрабатываемых серийно. Необходимость калибровки возникает в первую очередь в связи с погрешностями, связанными с несовершенством механической составляющей робота. Данная проблема характерна даже для высококачественных двигателей и редукторов.

### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Дунец, И.П. Принципы работы системы детектирования автономного мобильного робота и препятствий для его движения // Современные проблемы математики и вычислительной техники: материалы VI Республиканской научной конференции молодых учёных и студентов, Брест, 26-28 ноября 2009 г. – Брест: БрГТУ, 2009. – С. 38-41.

2. Gary Bradski and Adrian Kaehler. Learning OpenCV. – Published by O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472. – 2008. – P. 405-412.

УДК 535.337

**Ивенкова О.А.**

**Научный руководитель: ст. преподаватель Тарасюк Н.П.**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСИТОННЫХ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ**

#### **Введение**

В последние десятилетия наблюдается бурное развитие опто- и квантовой электроники. В связи с этим повышается совершенство применяемых полупроводниковых кри-

сталлов. В исследовании полупроводников особое место занимают оптические методы, отличающиеся высокой точностью и надежностью, большой информативностью. Экситонная спектроскопия (отражение, поглощение и люминесценция) представляет собой весьма чувствительный метод для исследования поверхностных и объемных свойств полупроводников: поверхностных состояний, безэкситонного или нарушенного приповерхностного слоя, процессов дефектообразования при различных видах воздействия.

Для анализа спектров в области экситонного резонанса наибольшее распространение получил метод подгонки вычисляемых по формулам Френеля кривых экситонного отражения к экспериментальным спектрам [1]. Таким методом можно оценить все основные параметры свободных экситонов: резонансную энергию экситонного осциллятора  $E_0$ , параметр затухания  $\Gamma$ , фоновую диэлектрическую проницаемость  $\epsilon_0$ , поляризуемость  $4\pi\alpha$ . Влияние поверхности можно учесть введением приповерхностного безэкситонного ("мертвого") слоя, наличие которого приводит к интерференционным эффектам и трансформации контура полосы отражения [2].

Трехкомпонентное соединение  $\text{CuInSe}_2$  относится к группе полупроводников  $\text{A}^{\text{III}}\text{C}_2^{\text{VI}}$  и кристаллизуется в структуре халькопирита. Соединение  $\text{CuInSe}_2$  является прямозонным полупроводником с чрезвычайно большим коэффициентом оптического поглощения  $\sim (3-6) \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$  и считается перспективным материалом для изготовления высокоэффективных солнечных элементов. К настоящему времени  $\text{CuInSe}_2$  – одно из наиболее исследованных соединений группы полупроводников  $\text{A}^{\text{III}}\text{C}_2^{\text{VI}}$ , однако многие его свойства, и прежде всего оптические, изучены недостаточно. В большинстве случаев данные о фундаментальных параметрах и энергетической зонной структуре  $\text{CuInSe}_2$  материала противоречивы или вообще отсутствуют [1].

GaN относится к группе  $\text{A}^{\text{III}}\text{BV}$  и применяется в производстве голубых полупроводниковых лазеров, которые используются для чтения дисков большой емкости Blu-Ray DVD.

Далее рассмотрим расчет экситонных спектров отражения  $\text{CuInSe}_2$  с помощью одноосцилляторной модели с учетом "мертвого" слоя, а также спектров отражения GaN с помощью двухосцилляторной модели при различных температурах.

### Вычисление коэффициента отражения

У поверхности полупроводника существует область, где экситонное состояние сильно возмущено. Такую область естественно назвать переходным экситонным слоем (ПЭС). Ту часть ПЭС, где экситоны практически полностью подавлены, можно назвать безэкситонным или "мертвым" слоем у поверхности [3,4]. Одним из наиболее распространенных теоретических описаний свойств кристалла является модель однородного "мертвого" слоя, предложенная Холфилдом и Томасом [2].

Принимается, что "мертвый" слой однороден по толщине и, помимо параметра  $d$ , характеризуется вещественным показателем преломления, равным, например, фоновому  $n_0 = \sqrt{\epsilon_0}$  (рис. 1, область II). Объем кристалла (рис. 1, область III) характеризуется комплексным показателем преломления  $\tilde{n}(\omega)$ .

В одноосцилляторной модели коэффициент отражения будет иметь вид [1]

$$R(\omega) = |\tilde{r}(\omega)|^2, \quad (1)$$

$$\tilde{r}(\omega) = \frac{\Gamma_{12} + \tilde{r}_{23}(\omega)e^{2i\beta}}{1 + \Gamma_{12}\tilde{r}_{23}(\omega)e^{2i\beta}}, \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda} n_0 d. \quad (2)$$

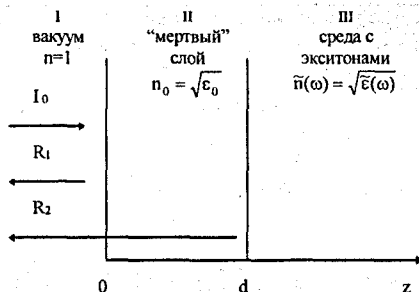


Рисунок 1 – Модель переходного экситонного слоя, содержащая однородный “мертвый” слой с показателем преломления  $n_0$  и толщиной  $d$

Для случая нормального падения света коэффициенты  $r_{12}$  и  $\tilde{r}_{23}(\omega)$ , связанные с отражением соответственно на границах I и II, II и III, будут иметь вид

$$r_{12} = \frac{n - n_0}{n + n_0}, \quad \tilde{r}_{23}(\omega) = \frac{n_0 - \tilde{n}(\omega)}{n_0 + \tilde{n}(\omega)}. \quad (3)$$

Диэлектрическая проницаемость  $\tilde{\epsilon}(\omega)$  имеет вид [5]

$$\tilde{\epsilon}(\omega) = \epsilon_0 + \frac{4\pi\alpha_0\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\omega\Gamma} \quad (4)$$

и

$$\tilde{n}(\omega) = \sqrt{\tilde{\epsilon}(\omega)} \quad (5)$$

В двухосцилляторной модели [6] коэффициент отражения вычисляется по формуле (1) путем замены в формуле (5)  $\tilde{\epsilon}(\omega)$  на

$$\tilde{\epsilon}(\omega) = \epsilon_0 + \frac{4\pi\alpha_{0A}\omega_{0A}^2}{\omega_{0A}^2 - \omega^2 - i\omega\Gamma_A} + \frac{4\pi\alpha_{0B}\omega_{0B}^2}{\omega_{0B}^2 - \omega^2 - i\omega\Gamma_B}, \quad (6)$$

где индексы A и B относятся соответственно к A- и B- экситонам.

### Фитинг и результаты

Для фитинга использовалась целевая функция вида

$$F = \sum_{i=1}^N (R_{\text{теор}_i} - R_{\text{экс}_i})^2, \quad (7)$$

где  $N$  – число экспериментальных точек,  $R_{\text{теор}_i}$  и  $R_{\text{экс}_i}$  – теоретические и экспериментальные значения коэффициента отражения [6].

Для минимизации функции  $F$  использовался метод квадратичной интерполяции-экстраполяции [7].

Ниже приведены экспериментальные (сплошная кривая) и рассчитанные (штриховая кривая) контуры полосы экситонного отражения GaN и CuInSe<sub>2</sub>, а также параметры, полученные из фитинга. Для GaN применялась двухосцилляторная модель (рис. 2), а для CuInSe<sub>2</sub> – одноосцилляторная модель (рис. 3 и 4). Оцененные параметры приведены в таблицах 1 и 2.

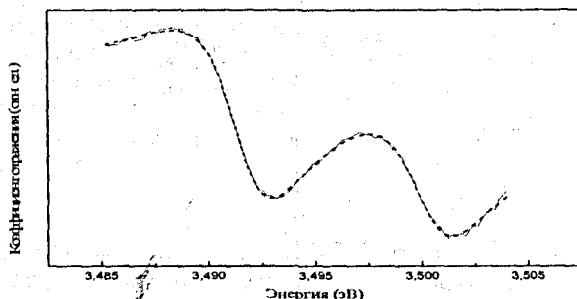


Рисунок 2 – Экспериментальный (сплошная линия) и рассчитанный (штриховая) контуры полосы экситонного отражения GaN при  $T = 8$  К для А- и В-экситонов

Таблица 1. Параметры, определенные из сравнения расчетных и измеренных спектров отражения в области свободных А- и В-экситонов GaN при  $T = 8$  К

Резонансные энергии	$E_A = 3.4908$ eV	$E_B = 3.4996$ eV
Параметры затухания	$\Gamma_A = 4.44$ meV	$\Gamma_B = 4.66$ meV
Толщина мертвого слоя	$d = 7.83$ nm	
Поляризуемости	$4\pi\alpha_A = 0.0041$	$4\pi\alpha_B = 0.0026$

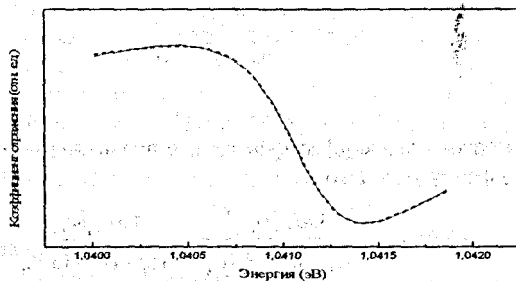


Рисунок 3 – Экспериментальный (сплошная линия) и рассчитанный (штриховая) контуры полосы экситонного отражения CuInSe<sub>2</sub> при  $T = 4.2$  К для А-экситона

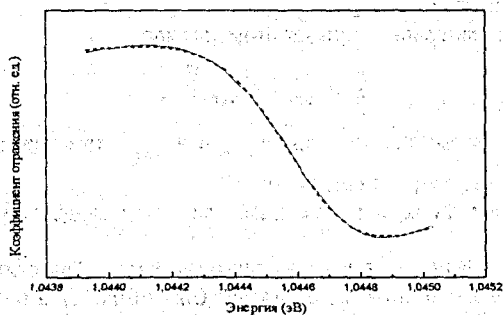


Рисунок 4 – Экспериментальный (сплошная линия) и рассчитанный (штриховая) контуры полосы экситонного отражения CuInSe<sub>2</sub> при  $T = 4.2$  К для В-экситона



Таблица 2 – Параметры, определенные из сравнения расчетных и измеренных спектров отражения в области свободных А- и В-экситонов CuInSe<sub>2</sub> при T = 4.2 К

	А-экситон	В-экситон
Резонансная энергия	E = 1.04104 eV	E = 1.04455 eV
Параметр затухания	Γ = 0.91 meV	Γ = 0.74 meV
Толщина мертвого слоя	d = 7.83 nm	d = 8.46 nm
Поляризуемость	4πa = 0.0033	4πa = 0.0027

### Заключение

В настоящей работе проанализированы спектры отражения нанокристаллов GaN и CuInSe<sub>2</sub> с помощью одно- и двухосцилляторной моделей с учетом "мертвого" слоя. Из сравнения экспериментальных и расчетных контуров спектров отражения определены значения энергии экситонного резонанса, параметра затухания, толщины "мертвого" слоя и поляризуемости.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – Москва, 1970.
2. Hopfield, J.J.; Thomas, D. Theoretical and Experimental Effects of Spatial Dispersion on the optical Properties of Crystals // Phys. Rev., 32, 1963. – S. 563-572.
3. Экситоны / Под ред. Э.И. Рашба. – Москва, 1985.
4. Киселев, В.А. Экситонная спектроскопия приповерхностной области полупроводников / В.А. Киселев, Б.В. Новиков, А.Е. Чередниченко. – Ленинград, 1987.
5. Ракович, Ю.П. Экситонное отражение монокристаллов ZnSe с учетом влияния поверхностного электрического поля // ЖПС. 1999. – Т. 66. – № 3.
6. Rakovich, Yu. Computer modeling the Excitonic Reflection and Photoluminescence Spectra of GaN Epitaxial Layers. International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence / Yu. Rakovich, N.P. Tarasjuk, A.A. Gladyschuk, E.V. Lucenko, G.P. Yablonskii, M. Heuken, K. Heime. – Brest, 1999. – P. 204-209.
7. Боглаев, Ю.П. Вычислительная математика и программирование. – Москва, 1990.

УДК 535.337

*Ивенкова О.А.*

*Научный руководитель: ст. преподаватель Тарасюк Н.П.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСИТОННЫХ СПЕКТРОВ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

### Введение

Широкомасштабные исследования оптических спектров экситонов в полупроводниковых кристаллах вызваны в первую очередь потребностями бурно развивавшейся опто- и квантовой электроники.

Для анализа спектров в области экситонного резонанса наибольшее распространение получил метод подгонки вычисляемых по формулам Френеля кривых экситонного отражения к экспериментальным спектрам [1]. Далее по определенным из спектров отражения значениям резонансной энергии  $E_0$ , параметра затухания  $\Gamma$ , поляризуемости  $4\pi a$ , толщины "мертвого" слоя  $d$  анализируются спектры фотолюминесценции и определяются коэффициент диффузии  $D_{ex}$  и время жизни экситонов  $T_{ex}$ .

Далее рассмотрим расчет экситонных спектров фотолюминесценции CuInSe<sub>2</sub> и GaN.

### Расчет спектров фотолюминесценции

При описании формы спектра фотолюминесценции используется следующее выражение [2]:

$$I_{\text{PL}}^0(\omega) = \rho(\omega) \cdot (1 - R'(\omega)) \int_0^l n_{\text{ex}}(x) \cdot \exp(-k(\omega)x) dx. \quad (1)$$

(Кристалл имеет вид плоскопараллельной пластины, ограниченной плоскостями  $x = 0$  и  $x = l$ . Свет частоты  $\omega$  падает перпендикулярно плоскости  $x = 0$  из области  $x < 0$ .) Здесь  $\rho(\omega)$  – отнесенная к единице времени вероятность образования фотона с частотой  $\omega$  при гибели экситона,  $R'(\omega)$  – коэффициент отражения,  $k(\omega)$  – коэффициент экситонного поглощения,  $n_{\text{ex}}(x)$  – функция распределения экситонов по глубине кристалла.

Коэффициент отражения  $R'(\omega)$  определяется по формуле (2):

$$R'(\omega) = |\tilde{r}(\omega)|^2, \quad (2)$$

где  $\tilde{r}(\omega) = \frac{\tilde{r}_{12}(\omega) + r_{23}e^{2i\beta}}{1 + \tilde{r}_{12}(\omega)r_{23}e^{2i\beta}}$ ,  $\tilde{r}_{12}(\omega) = \frac{\tilde{n}(\omega) - n_0}{\tilde{n}(\omega) + n_0}$ ,  $r_{23} = \frac{n_0 - n}{n_0 + n}$ ,  $n_0$  – показатель преломления

безэкситонного слоя,  $\tilde{n}(\omega)$  – показатель преломления кристалла,  $n = 1$ .

Распределение экситонов по координате можно определить из системы диффузионных уравнений для электронно-дырочных пар  $n_e$  и экситонов  $n_{\text{ex}}$  при учете рекомбинации только через экситонные состояния [3]:

$$D_e \frac{d^2 n_e}{dx^2} = \gamma_B \cdot n_e^2 - I_{\text{ex}} k \cdot \exp(-k \cdot x) - \alpha \cdot n_{\text{ex}}, \quad (3)$$

$$D_{\text{ex}} \frac{d^2 n_{\text{ex}}}{dx^2} = \frac{n_{\text{ex}}}{\tau_{\text{ex}}} + \alpha \cdot n_e - \gamma_B n_e^2. \quad (4)$$

Здесь  $D_e$  и  $D_{\text{ex}}$  – коэффициенты диффузии носителей и экситонов,  $I_{\text{ex}}$  – интенсивность возбуждения,  $k$  – коэффициент поглощения на длине волны возбуждения,  $\gamma_B$  – коэффициент связывания электронно-дырочных пар в экситоны,  $\alpha = \gamma_B N_{\text{cve}}$  – коэффициент термической диссоциации экситонов, где  $N_{\text{cve}}$  – эффективная плотность состояний в разрешенных зонах, приведенная к уровням экситонов.

Для случая преобладания диффузии и концентрации экситонов над амбиполярной диффузией и концентрацией электронно-дырочных пар, из двух уравнений получается одно для экситонов:

$$D_{\text{ex}} \frac{d^2 n_{\text{ex}}}{dx^2} = \frac{n_{\text{ex}}}{\tau_{\text{ex}}} - I_{\text{ex}} k \cdot \exp(-k \cdot x). \quad (5)$$

При учете граничных условий на плоскости  $x=0$ :

$$D_{\text{ex}} \frac{dn_{\text{ex}}}{dx} \Big|_{x=0} = S_{\text{ex}} n_{\text{ex}}(0) \quad \text{и} \quad n_{\text{ex}} \Big|_{x=l} = 0, \quad (6)$$

решение уравнения (5) получается в виде

$$n_{\text{ex}}(x) = \frac{I_{\text{ex}} \cdot k \cdot \tau_{\text{ex}}}{L^2 k^2 - 1} \left( \frac{k - \frac{S_{\text{ex}}}{D_{\text{ex}}}}{1 - \frac{S_{\text{ex}}}{D_{\text{ex}}}} \cdot \exp\left(-\frac{x}{L}\right) - \exp(-k \cdot x) \right) \quad (7)$$

Здесь  $S_{\text{ex}}$  – скорость поверхностной рекомбинации экситонов,  $L = \sqrt{D_{\text{ex}} \cdot \tau_{\text{ex}}}$  – длина диффузии экситонов.

Значения резонансной энергии  $E_0$ , параметра затухания  $\Gamma$ , поляризуемости  $\Delta\mu$ , толщины “мертвого” слоя  $d$  берутся из рассчитанных спектров отражения.

## Результаты

Для подгонки вычисляемых кривых к экспериментальным спектрам использовалась целевая функция вида

$$F = \sum_{i=1}^N \left( Y_{теор_i} - Y_{эксн_i} \right)^2, \quad (8)$$

где  $N$  – число экспериментальных точек,  $Y_{теор_i}$  и  $Y_{эксн_i}$  – теоретические и экспериментальные значения [4].

Для минимизации функции целевой функции  $F$  использовался метод квадратичной интерполяции-экстраполяции [5].

Ниже приведены экспериментальные (сплошная кривая) и рассчитанные (штриховая кривая) контуры полосы фотолюминесценции (рисунки 1 и 2)  $\text{CuInSe}_2$ , а также параметры, полученные из подгонки (таблицы 1 и 2).

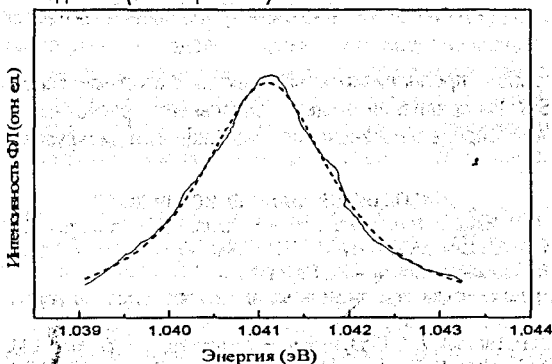


Рисунок 1 – Экспериментальный (сплошная линия) и рассчитанный (штриховая) спектры фотолюминесценции  $\text{CuInSe}_2$  при  $T = 4.2$  К для А-экситона

Таблица 1 – Параметры, определенные из сравнения расчетных и измеренных спектров фотолюминесценции в области свободного А-экситона  $\text{CuInSe}_2$  при  $T = 4.2$  К ( $l_{ex} = 5 \frac{\text{Bm}}{\text{cm}^2}$ ,  $k = 3.5 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\epsilon_0 = 13.6$ ,  $S_{ex} = 100 \text{ cm/s}$ ,  $l = 4 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$ ,  $E_{0A} = 1.04106 \text{ эВ}$ ,  $\Gamma = 1.04 \text{ мэВ}$ ,  $4\pi\alpha = 0.00255$ ,  $d = 13.5 \text{ нм}$ )

Коэффициент диффузии экситона $D_{ex}, \frac{\text{cm}^2}{\text{с}}$	0.86
Время жизни экситонов $\tau_{ex}, \text{пс}$	42

Таблица 2 – Параметры, определенные из сравнения расчетных и измеренных спектров фотолюминесценции в области свободного В-экситона  $\text{CuInSe}_2$  при  $T = 4.2$  К ( $l_{ex} = 5 \frac{\text{Bm}}{\text{cm}^2}$ ,  $k = 3.5 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\epsilon_0 = 13.6$ ,  $S_{ex} = 100 \text{ cm/s}$ ,  $l = 4 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$ ,  $E_{0B} = 1.04449 \text{ эВ}$ ,  $\Gamma = 0.96 \text{ мэВ}$ ,  $4\pi\alpha = 0.00194$ ,  $d = 1.6 \text{ нм}$ )

Коэффициент диффузии экситона $D_{ex}, \frac{\text{cm}^2}{\text{с}}$	3.67
Время жизни экситонов $\tau_{ex}, \text{пс}$	33

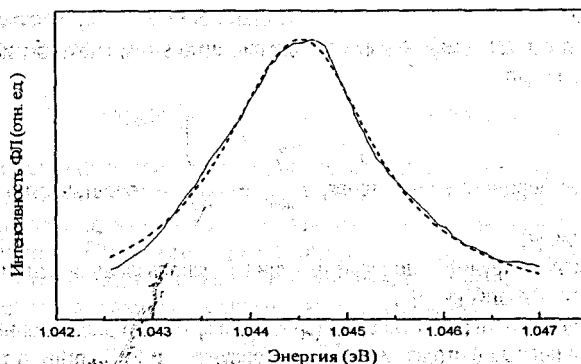


Рисунок 2 – Экспериментальный (сплошная линия) и рассчитанный (штриховая) спектры фотолюминесценции  $\text{CuInSe}_2$  при  $T = 4.2$  К для В-экситона

### Заключение

В настоящей работе проанализированы спектры фотолюминесценции нанокристаллов  $\text{GaN}$  и  $\text{CuInSe}_2$ . Из сравнения экспериментальных и расчетных контуров спектров фотолюминесценции определены значения коэффициента диффузии  $D_{ex}$  и время жизни экситонов  $\tau_{ex}$ .

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А.В. Мудрый, М.В. Якушев, Р.Д. Томлинсон, А.Е. Хилл, Р.Д. Пилкингтон, И.В. Боднар, И.А. Виктор, В.Ф. Гременок, И.А. Шакин, А.И. Патук // ФТП. – 2000. – Т.34. – № 5. – С. 550-554.
2. Агранович, В.М. Теория экситонов. – М.: Наука, 1968.
3. Нолле, Э.Л. О рекомбинации через экситонные состояния в полупроводниках // ФТТ. – 1967. – Т.9. – N 1. – С. 122-128.
4. Yu. Rakovich, N.P. Tarasjuk, A.A. Gladyshchuk, E.V. Lucenko, G.P. Yablonskii, M. Heuken, K. Heime. Computer modeling the Excitonic Reflection and Photoluminescence Spectra of  $\text{GaN}$  Epitaxial Layers. International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence. – Brest, 1999. – P. 204-209.
5. Боглаев, Ю.П. Вычислительная математика и программирование. – Москва, 1990.

УДК 681.3

Кочурко В.А., Согоян А.Л.

Научный руководитель: профессор Муравьев Г.Л.

### ПОДХОД К ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВЫХ ОПИСАНИЙ СИСТЕМ

Моделирование и в том числе имитационное широко используется для анализа и синтеза систем. Одним из этапов, который обеспечивает проведение моделирования, является этап обследования системы, процессов функционирования системы с целью получения информации, необходимой как для разработки моделей, так и оценки их адекватности. Последнее как раз и предполагает получение характеристик функционирования системы, которые и используются в качестве эталонных при оценке адекватности построенных моделей. Соответственно одна из задач обучения моделированию – обеспечить полный цикл работ, включая разработку модели и ее аттестацию.

Здесь рассматривается подход к организации автоматического формирования исходных тестовых описаний, представляющих собой наборы параметров систем и набо-

ры характеристик, необходимых и достаточных как для построения моделей, так и оценки их адекватности. Потенциальная потребность в формировании большого числа описаний, трудоемкость проверки их корректности и получения эталонных характеристик делает задачу актуальной.

Указанные описания должны обладать рядом свойств. Это: неповторяемость и прогнозируемая сложность, что может быть обеспечено наличием эмпирически, либо математически обоснованных процедур порождения тестовых описаний и правил их хранения и учета; полнота, выражающаяся в наличии наборов характеристик, что может быть обеспечено генерацией соответствующих результативных моделей и их исполнением. При автоматизации процессов формирования тестовых описаний необходимо также обеспечить: управляемость сложностью описаний; документированность описаний, состоящую в генерации соответствующих отчетов; проверяемость результатов.

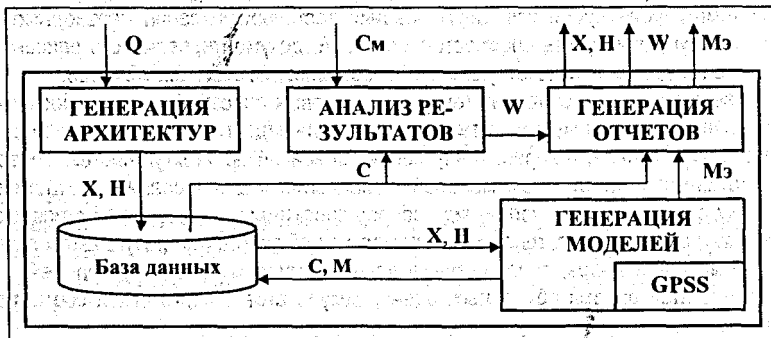
Соответственно компьютерная генерация тестовых описаний должна обеспечивать: автоматическую настройку алгоритмов генерации на заданные ограничения по сложности архитектур систем; генерацию внутренних описаний архитектур систем; генерацию результативных имитационных моделей; проведение моделирования; статистическую обработку данных с целью получения наборов характеристик с заданной степенью точности и полноты описания; генерацию отчетов для обучаемых по результатам выполнения предыдущих пунктов; ведение банка данных тестовых описаний, моделей; фиксацию результатов работы обучаемых, оценку результатов с подготовкой соответствующих протоколов.

Подход макетировался применительно к системам, описываемым в терминах линейных сетей массового обслуживания [1, 2], и может быть распространен на произвольные стохастические сетевые модели. Для упрощения разработки системы и минимизации затрат максимально использовались готовые стандартные инструментальные средства, аналитические расчеты и эмпирические правила. Для генерации описаний прибегали к упрощению моделей, что позволяло на базе заданных ограничений дорассчитывать недостающие параметры аналитически, а затем распространять полученные результаты на всю исходную модель. При этом принималась гипотеза о квазистационарности модели, т.е. все расчеты выполнялись в режиме существования единственной статистически устойчивой оценки средних характеристик модели [2].

Соответственно на исходном этапе определялись ограничения по сложности архитектур, например, в части количества узлов и потоков, типов узлов и т.д., устанавливались требования к режиму функционирования сети, требования к значениям коэффициентов загрузки узлов сети. На основе свойства линейности сети и в предположении ее однородности для интенсивностей входных потоков заявок для узлов сети строилась система линейных уравнений, используемая для доопределения составляющих матрицы вероятностей переходов заявок. На заключительном этапе при необходимости выполнялась декомпозиция полученных параметров по потокам сети.

Упрощенная структура системы представлена на рисунке ниже. В систему вводятся ограничения на сложность архитектур генерируемых сетей  $Q$ . Результаты генерации (параметры окружения  $X$  и параметры сети  $H$ ) используются для формирования отчетов – текстов заданий с описанием системы, а также для автоматического получения соответствующей имитационной модели. Здесь для получения исполнимых имитационных моделей на базе сгенерированных описаний и проведения моделирования использовалась бесплатная версия системы GPSS World [3]. Соответственно были разработаны правила

трансформации внутренних описаний архитектур систем в модельные описания на одноименном входном языке. Полученные модели выполнялись и из отчетов GPSS формировались наборы значений эталонных характеристик  $C$  для тестовых описаний. Кроме этого, предполагается генерация модели-эталона  $Mэ$ , выполняющей роль программного имитатора системы, исследуемой и моделируемой обучаемым. Далее характеристики  $Cм$ , полученные обучаемым в ходе моделирования, вводятся в систему и сравниваются с эталонными характеристиками. Результаты контроля  $W$  представляются в отчете. Все полученные результаты хранятся в виде соответствующих внутренних представлений в базе данных системы.



Таким образом, в работе рассмотрен подход к автоматизации формирования тестовых описаний  $\langle X, H, C \rangle$ , используемых для обучения моделированию. Разработаны правила, алгоритмы, составляющие базу компьютерной генерации описаний (включая генерацию базовых архитектур, моделей, эталонов). Дальнейшая замена GPSS World на оригинальную имитационную модель позволит исключить этапы генерации GPSS-моделей и трансформации их отчетов. А сама модель совместно с описаниями после соответствующей трансформации сможет исполнять роль программного имитатора моделируемой системы.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Советов, Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2001. – 430 с.
2. Ивницкий, В. А. Теория сетей массового обслуживания / В.А. Ивницкий. – М., Физико-математическая литература, 2004. – 772 с.
3. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: КОРОНА, 2004. – 320 с.

УДК 621.397.13:004.932.75'1

**Кузьмицкий Н.Н.**

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Дереченник С.С.*

#### КОНТУРНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОКУМЕНТОВ

##### Введение

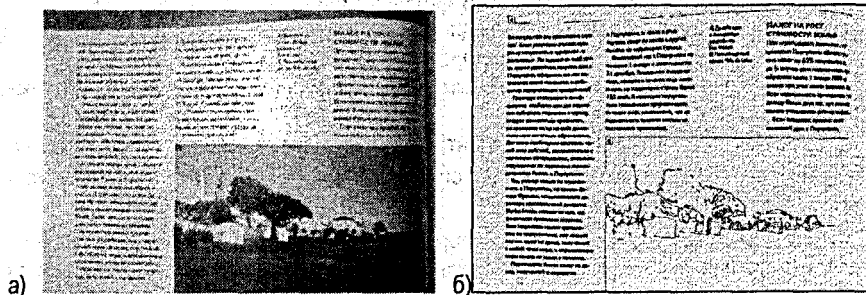
Сегментация является важнейшей задачей обработки цифровых изображений, т.к. именно точность ее проведения во многом определяет успех дальнейших процедур

анализа. При этом эффективность сегментации существенно затрудняется, если рассматриваемое изображение имеет сложную структурную организацию, как, например, у цифровых изображений документов; характерными особенностями которых являются: группировка текстовых образов в обособленные блоки и колонки, наличие объектов искусственного или естественного природного происхождения, стилистическая разобщенность текстовой информации и др.

Указанные признаки вынуждают использовать широкий круг математических и программно-технологических средств обработки изображений, для осуществления качественной сегментации, чрезмерная общность которых приводит к необходимости разработки специальных способов совместного применения базовых подходов. Примером такой интеграции является предлагаемая процедура контурной сегментации цифровых изображений документов, особенностью которой является одновременное использование двух базовых свойств яркости: разрывности и однородности.

### Постановка задачи

В качестве входных данных для процедуры сегментации будем рассматривать растровое полутоновое изображение документа, как, например, на рисунке 1. Целью процедуры является разделение изображения на области, с которыми связана существенная для данной задачи информация (наличие образов алфавитно-цифровых данных) и второстепенные, содержащие, например, сложные графические объекты, текстуры и др.



полутоновое изображение (а), его контурное представление (б)  
Рисунок 1 – Пример изображения документа (журнальной страницы)

Как правило, алгоритмы сегментации основаны на одном из двух указанных выше свойств яркости. При этом в первом случае подход состоит в разбиении изображения на части, исходя из резких перепадов значений яркости, которые присутствуют, в частности, на границах объектов. Вторая группа методов осуществляет разделение изображений на области, однородные в смысле определенных, заранее заданных критериев, например, топологических.

Предлагаемая процедура контурной сегментации сочетает характеристики обоих подходов, при этом процесс обработки включает в себя следующие этапы:

- 1) обнаружение контуров полутонового изображения;
- 2) первый этап кластеризации контуров: выделение отдельных текстовых образов ("слов");
- 3) второй этап кластеризации контуров: выделение крупных текстовых блоков ("колонок");
- 4) фильтрация кластеров.

## Описание процедуры контурной сегментации

### Обнаружение контуров полутонового изображения

Основной признак изображения, используемый для решения данной задачи – перепады уровня яркости. Если рассматривать математическое описание изображения как двумерную функцию, то перепады яркости определяются путем вычисления ее первой и второй пространственных производных на основе следующего правила: в области перепада первая производная имеет экстремум, а вторая производная изменяет знак. Полученные участки можно сгруппировать в кривые, которые в свою очередь образуют контуры изображения.

Существуют различные методы выделения контуров, например, детекторы Робертса и Чена. Их свойства проявляются в способности обнаруживать малоконтрастные перепады, препятствовать разрывности границ, отсеивать ненужные линии и шумы. Выбор метода определяется целью последующей обработки, требованиями к качеству и скорости действия.

Исходя из особенностей рассматриваемой задачи, в качестве основного детектора контуров был выбран детектор Кэнни, отличительными признаками которого являются:

1. хорошее обнаружение: минимальная вероятность пропуска реального перепада яркости и минимальная вероятность ложного определения;
2. хорошая локализация: пиксели, определенные как пиксели края, должны располагаться настолько возможно ближе к центру истинного края;
3. наличие только одного отклика на один край.

Основные шаги используемого детектора:

1. Изображение сглаживается гауссовым фильтром с заданным стандартным отклонением  $\sigma$  для снижения шума.

2. В каждой точке вычисляется градиент  $g(x, y) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2}$  и направление контура  $\alpha(x, y) = \arctg(G_y / G_x)$ . Точки перепада определяются как локальные экстремумы градиента.

3. Отслеживается верх гребней на изображении модуля градиента и присваивается нулевое значение точкам, которые не лежат на них. В результате на выходе строится тонкая линия, а сам процесс называется *немаксимальным подавлением*.

4. Проводится пороговая обработка с использованием двух значений  $T1$  и  $T2$  ( $T1 < T2$ ): пиксели гребня, яркость которых больше  $T2$ , называют "сильными", а пиксели, яркость которых находится в интервале  $[T1, T2]$  – "слабыми".

5. Совершается объединение: к сильным пикселям добавляются слабые, 8-связные с ними. В результате формируется бинарное контурное представление исходного изображения [1].

Результат работы рассматриваемого алгоритма существенно зависит от параметра сглаживания  $\sigma$  и значений порогов, описанных в п.3, при этом принципы их подбора, являются объектом отдельного исследования. Пример использования детектора Кэнни приведен на рисунке 1 (б).

### Первый этап кластеризации контуров

Целью этапа является выделение отдельных текстовых образов ("слов"). Для этого бинарное контурное изображение подвергается маркировке компонент (бинарных сегментов), которые в дальнейшем подвергаются процедуре кластеризации на основе следующих признаков:

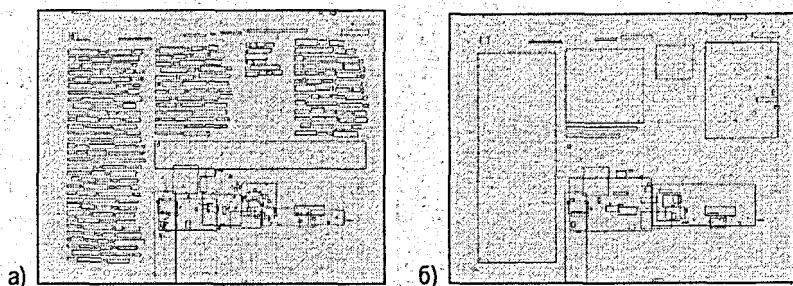


1) близость расположения: для кластера близкой считается компонента, хотя бы один пиксель которой принадлежит окрестности кластера стандартного размера (в проводимых экспериментах это квадратная маска размера  $5 \times 5$ );

2) яркостная однородность: однородной с кластером считается компонента, разность яркости которой с яркостью любой компоненты кластера не превышает порога  $T_3$ , а разность с яркостью самого кластера не превышает порога  $T_4$ . При этом под яркостью компоненты понимается, среднее значение яркости пикселей исходного полутонового изображения, покрываемых ее единичной окрестностью; а яркость кластера (средняя яркость его элементов) после добавления очередного элемента каждый раз пересчитывается.

Процедура кластеризации реализована в виде рекурсивного алгоритма, входными данными для которого является номер текущей компоненты кластера, а выходом – номера поглощенных ею (включенных в кластер) компонент. В завершение образованные кластеры подвергаются фильтрации, результатом которой является исключение из дальнейшего рассмотрения непропорциональных, в смысле предмета поиска кластеров (например, образованных прямыми, разделяющими неоднородные участки фона). Кроме того, производится определение цветовой ориентации кластеров: "темный текст + светлый фон" или "светлый текст + темный фон".

Результат выполнения первого этапа кластеризации приведен на рисунке 2 (а).



после первого этапа (а), после второго этапа (б)

Рисунок 2 – Результат поэтапной кластеризации контуров цифрового изображения документа

### *Второй этап кластеризации контуров*

На данном этапе формируются обособленные текстовые блоки ("колонки") путем объединения кластеров предыдущего этапа ("слов") в новые. Формирование осуществляется на базе следующих признаков:

1) близость расположения: для кластера близким считается слово, хотя бы один пиксель которого принадлежит его окрестности стандартного размера (в проводимых экспериментах – квадратная маска размера  $20 \times 20$ );

2) яркостная однородность: однородным с кластером считается слово, разность яркости которого с яркостью любого слова кластера не превышает порога  $T_3$ , а разность с яркостью всего кластера – порога  $T_4$ ;

3) близость значений высот: в кластер может быть добавлено слово, отношение высоты которого к средней высоте слов кластера не превышает порога  $T_5$ , за исключением слов, представляющих собой внутренние контуры символов R, P, A и др.;

4) одинаковая ориентация: кластер объединяет одинаково ориентированные слова, за исключением слов, представляющих собой внутренние контуры символов R, P, A и др.

Алгоритм кластеризации на данном этапе аналогичен рекурсивному алгоритму предыдущего этапа, при этом входом для него является номер текущего слова, выходом – номера поглощенных им (включенных в кластер) слов, а яркость и высота кластера после добавления очередного слова каждый раз пересчитываются. Результат выполнения второго этапа кластеризации приведен на рисунке 2 (б).

#### *Фильтрация кластеров*

Для повышения качества и быстродействия дальнейших процедур анализа образованные кластеры необходимо подвергнуть объединению на основе следующих признаков:

- 1) вложенность минимальных прямоугольников;
- 2) одинаковая ориентация;
- 3) яркостная однородность.

При этом для предотвращения добавления к пустому кластеру-рамке внутреннего текстового содержимого, объединяемые кластеры должны иметь достаточную плотность слов.

Ввиду сложности и объемности критериев фильтрации, опустим подробное описание данного этапа, отметив, что в проводимых экспериментах использовались метрические и статистические признаки, оценивалась возможность бинаризации кластеров [2].

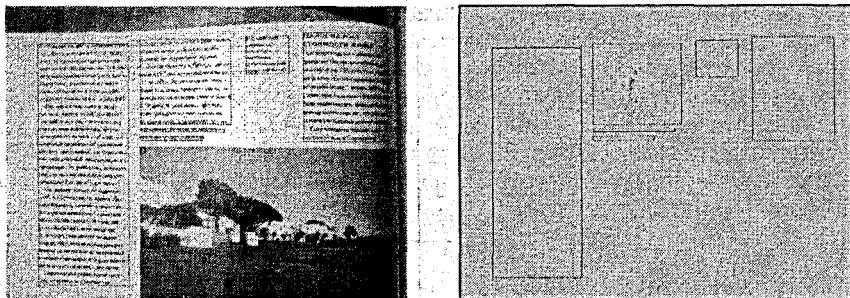


Рисунок 3 – Итоговый результат контурной сегментации цифрового изображения документа

#### **Выводы**

В работе описана процедура контурной сегментации цифровых изображений документов, особенностью которой является одновременное использование двух базовых свойств яркости: разрывности и однородности.

Эффективность предлагаемой процедуры определяется интеграцией различных подходов к проведению сегментации, использованием как метрических, так и статистических признаков, учетом структурных особенностей образов текстовых данных, как основного объекта поиска.

При этом дополнительным источником повышения качества процедуры является разработка методов адаптивного подбора параметров, достижение инвариантности рассмотренных этапов обработки относительно качества и композиционного содержания изображения.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений в среде Matlab / Л. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера. – 2006. – 616 с.
2. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир. – 1982. – Кн. 2. – 480 с.

## АДАПТИВНАЯ БИНАРИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТЕКСТОВЫХ БЛОКОВ

### Введение

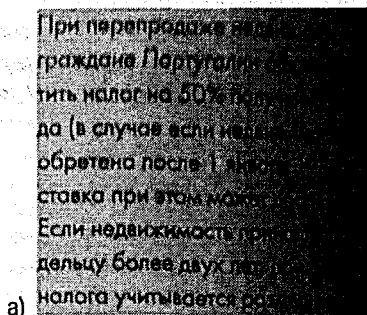
Бинарные изображения используются в самых разнообразных приложениях: обработка цифровых изображений документов, задачи промышленного зрения, медицинские исследования и др. При этом алгоритмы, для которых они являются входными данными, могут выполнять различные действия – от простых, например, извлечение характерных признаков областей, до гораздо более сложных, например, обнаружение и сопоставление объектов, распознавание образов и др.

Широта и удобство применения бинарных изображений усложняется весьма нетривиальной процедурой их получения. Существуют различные подходы, например, использующие глобальные пороги, локальные характеристики и др., однако, качество результата, ввиду значительной шумовой составляющей и яркостной неоднородности исходного изображения, может быть недостаточным для дальнейшего эффективного анализа. В частности, с такой проблемой приходится сталкиваться при бинаризации цифровых образов текстовых блоков, являющейся объектом исследования данной работы.

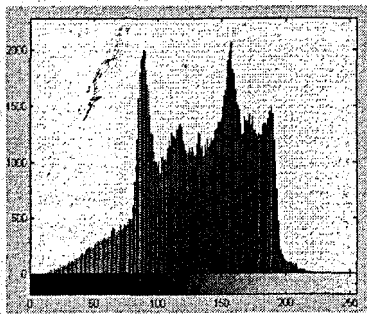
В качестве одного из вариантов решения указанной проблемы предлагается процедура адаптивной бинаризации, отличительной особенностью которой является использование контуров алфавитно-цифровых данных, образованных перепадами уровня яркости исходного изображения для проведения операции размывания реконструкцией. Целью применения данной операции является исключение фоновой составляющей из изображения текстовых блоков, что значительно облегчает итоговую пороговую бинаризацию.

### Постановка задачи

В качестве входной информации будем рассматривать растровое полутоновое изображение, содержащее образы алфавитно-цифровых данных (символы, слова, предложения, абзацы) как, например, на рисунке 1(а). Результатом процесса обработки изображения является его бинарное представление, при этом элементы одного множества формируют сегменты текстовых образов, а остальные рассматриваются как фоновые.



а)



б)

полутоновое изображение (а), его гистограмма яркости (б)

Рисунок 1 – Пример текстового блока

Стандартные методы бинаризации не гарантируют получения качественных результатов, т.к. они исходят из предположения о бимодальности распределения значений яркости изображения, которое может существенно отклоняться от такой идеализированной модели, как, например, на рисунке 1(б).

- Предлагаемая процедура адаптивной бинаризации включает в себя следующие этапы:
- 1) выделение естественных характеристик областей интереса, в частности оценка высоты шрифта, получаемая в ходе анализа контуров изображения;
  - 2) исключение фоновой составляющей изображения, осуществляемое операцией размыкания реконструкцией, с использованием полученной на предыдущем этапе оценки;
  - 3) пороговая бинаризация обработанного изображения, учитывающая модальные значения гистограммы яркости.

### Описание процедуры адаптивной бинаризации

#### *Выделение естественных характеристик областей интереса*

Первый из названных выше этапов связан с алгоритмами сегментации изображения текстового блока на различных уровнях и ввиду своей сложности является объектом отдельного исследования. Отметим лишь, что в их основе лежат полученные одним из детекторов (например, Кэнни) контуры полутонового изображения [1], подвергаемые кластеризации. Ее результатом являются обособленные последовательности текстовых образов (слова), с помощью которых и осуществляется оценка высоты шрифта.

#### *Исключение фоновой составляющей изображения*

Основное средство решения данной задачи – операция размыкания реконструкцией.

Морфологическая реконструкция представляет собой преобразование, в котором участвуют два изображения и один структурообразующий элемент. Одно из изображений, называемое маркером, является исходной точкой преобразования, другое изображение, называемое маской, накладывает определенные ограничения на отображение, используемый структурообразующий элемент определяет связность.

Если  $g$  – это маска, а  $f$  – маркер, то реконструкция  $g$  по  $f$ , которая обозначается  $R_g(f)$ , определяется следующей итеративной процедурой:

- 1) присвоить  $h_1$  маркерное изображение  $f$ ;
- 2) построить структурообразующий элемент  $B$ ;
- 3) повторять:  $h_{k+1} = (h_k \oplus B) \cap g$ , до тех пор, пока не станет  $h_{k+1} = h_k$ .

При этом предполагается, что маркер  $f$  является подмножеством  $g$ :  $f \subset g$ .

Несмотря на простоту и удобство итеративной формулировки процесса реконструкции, существуют другие, более быстрые вычислительные алгоритмы, реализующие это преобразование. В частности, при проведении исследований в рамках данной работы была использована "гибридная реконструкция" [2].

Техника размыкания реконструкцией включает в себя следующие шаги:

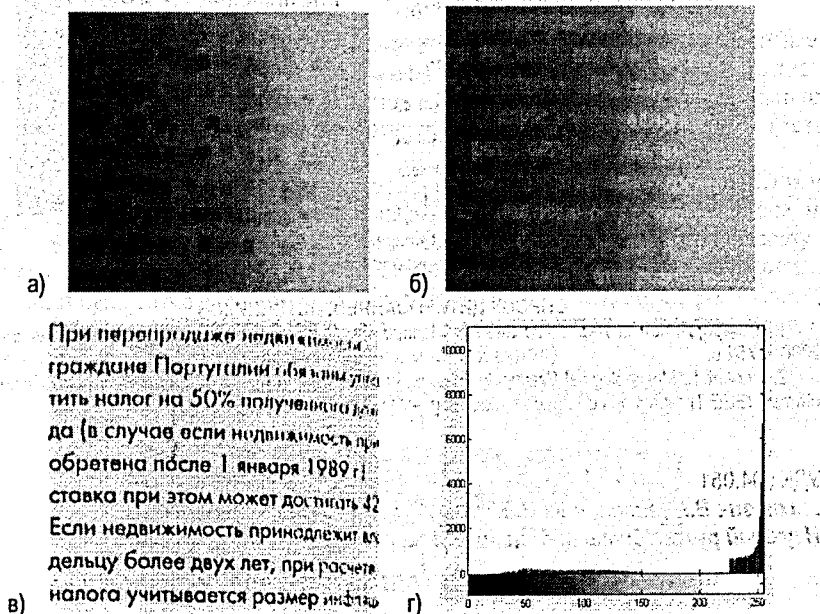
- 1) эрозия исходного полутонового изображения  $F$ :  $A = F \ominus C$ ;
- 2) проведение морфологической реконструкции:  $P = R_C(A)$ ;
- 3) исключение полученного изображения из исходного:  $R = F \setminus P$ .

Данные шаги по отношению к основной задаче второго этапа интерпретируются так:

- 1) удаление образов алфавитно-цифровых данных в изображении текстового блока;
- 2) восстановление фоновой составляющей изображения;
- 3) исключение фоновой составляющей из исходного изображения.

Основной проблемой в осуществлении указанных операций является подбор структурообразующего элемента эрозии  $S$ , позволяющего полностью удалить текстовые образы и при этом сохранить возможность восстановления фона алгоритмом реконструкции. В качестве источника оптимального размера элемента  $S$  предлагается использовать высоту шрифта  $h$ , оценка которого получена в ходе первого этапа.

В частности, в проводимых экспериментах использовался структурообразующий элемент, представляющий собой единичный квадрат размера  $0.5^*h \times 0.5^*h$ , который позволяет удалить текстовые образы и сохранить при этом локальные особенности яркости фоновой составляющей. Результаты выполнения операций второго этапа приведены на рисунке 2.



удаление текстовых образов (а), реконструкция (б) и вычитание фона (в), итоговая гистограмма (г)  
Рисунок 2 – Исключение фоновой составляющей изображения текстового блока

### Пороговая бинаризация изображения

Изображение, полученное на предыдущем этапе, отличается от исходного более выраженным контрастом текстовых образов и фона, при этом гистограмма распределения яркости значительно ближе к бимодальной модели. Следовательно, для получения итогового бинарного представления изображения можно воспользоваться одним из классических методов, например, алгоритмом Оцу [1].

Данный алгоритм отличается эффективным вычислением глобального порога, минимизирующего внутригрупповую дисперсию двух групп пикселей, при этом значение порога располагается между двумя преобладающими модами (текста и фона) гистограммы распределения яркости изображения.

Итоговые результаты адаптивной бинаризации приведены на рисунке 3.

## Выводы

В работе продемонстрирована эффективность процедуры адаптивной бинаризации цифровых изображений текстовых блоков, основанной на операции размыкания реконструкцией, являющейся мощным средством анализа изображений.

При этом обязательным условием получения качественного результата является учет естественных характеристик областей интереса, бинарное представление которых следует получить в ходе обработки.

При передаче недвижимого имущества гражданине Португалии обложению налогом на 50% полученного дохода (в случае если недвижимость приобретена после 1 января 1989 г.) ставка при этом может достигать 42%. Если недвижимость принадлежит владельцу более двух лет, при расчете налога учитывается размер инфляции

При передаче недвижимого имущества гражданине Португалии обложению налогом на 50% полученного дохода (в случае если недвижимость приобретена после 1 января 1989 г.) ставка при этом может достигать 42%. Если недвижимость принадлежит владельцу более двух лет, при расчете налога учитывается размер инфляции

результат адаптивной бинаризации (а), алгоритма Оцу (б)  
Рисунок 3 – Бинаризованное изображение текстового блока

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2006. – 752 с.
2. Vincent, L. Morphological Grayscale Reconstruction in Image Analysis: Applications and Efficient Algorithms // IEEE Transactions on Image Processing. – 1993. – Vol. 2, No. 2. – P. 176-201.

УДК 004.051

**Михневич В.А., Никонович В.Б.**

**Научный руководитель: доцент Дунец А.П.**

## ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СКЛАДА

### Введение

На заводах и фабриках хранится продукция. Магазины хранят свои товары, которые еще не попали на прилавок. Обычно такое место хранения называют складом. От увеличения помещения и количества груза соответственно усложняется обслуживание такого склада.

Представим себе оптовый магазин с большим складом. Допустим, это будет магазин компьютерной техники, в котором количество товаров может превышать 1000 или даже 10000 наименований устройств. Часто такие магазины не ограничиваются только компьютерными комплектующими, а продают также мобильные телефоны, ноутбуки, фотоаппараты, видеокамеры, расходные материалы и всякие другие подобные товары.

Другой пример – фармацевтические склады. Помимо большого количества разнообразных лекарств и препаратов, ситуация усложняется тем, что у таких товаров разные условия хранения (срок годности, температура, освещенность). Следовательно, приходится вести учет не только по наименованию товара, но и по другим параметрам. В

фармацевтической области главное точность и правильность составления заказа. Ошибки недопустимы, ведь от качества сборки заказа зависит здоровье человека. Поэтому надежность играет приоритетную роль.

Желательно, чтобы весь товар хранился централизованно. Но от такого количество товаров увеличиваются размеры склада и, соответственно, расстояние до нужного товара, что способствует увеличению времени на поиск и доставку товара. Было бы неплохо переложить подобные задачи (упорядочивание товара, его перемещение и своевременная доставка) на компьютеры и роботов. Интернет сделал посещение магазина легким для потребителей. Почему бы не автоматизировать выполнение заказа, причем повышение скорости будет достигаться переходом от последовательных к параллельным процессам.

В мире уже существуют готовые решения автоматизированного склада. Внедрением таких складов занимается американская компания "Kiva Systems" (Рис.1). Не затрагивая технических аспектов подобных складов, можно сказать, что они управляются всего одним человеком. При этом человек лишь отдает команды по отправке и принятию товаров со склада.

Роботы, проходя по складу, своими камерами читают закодированные «этикетки» на полу и передают закодированную информацию центральной компьютерной группе, которая работает как диспетчер. Далее диспетчер инструктирует примерно так: роботу N 1051 принести пакет N 145747 к стойке N 308, не сталкиваясь с роботом N 1433, который пересекает путь. Также есть возможность человеку-оператору подсветить роботу лазерным указателем нужный пакет. Существует также отечественный вариант – роботизированная система управления складом (автоматический склад).



Рисунок 1 – Автоматизированный склад "Kiva Systems"

**Автоматизированный склад** – это склад, управляемый системой автоматического хранения, поиска, передвижения, доставки продукции, товаров или другого груза, в работе которого минимально задействован человек.

Следует выделить объекты автоматизированного склада:

#### 1. Склад.

Это может быть помещение любых размеров. Не принципиально важно, что это за склад и каковы его размеры, однако будут различаться вид груза и его размеры, способы загрузки и разгрузки. Т.е. в соответствии индивидуальными характеристиками склада.

## **2. Товар на складе.**

Это может быть любая продукция (изделия в виде коробок, контейнеров и т.д. Далее просто товар). Товар, желательно, должен быть одной формы и размеров, сопоставимых с возможностями робота-грузчика.

## **3. Робот-грузчик.**

Это мобильный робот, способный поднять, перевезти и опустить груз на новое место. Сразу можно отметить, что таких роботов-грузчиков может быть несколько. В первую очередь поднимается проблема передвижения робота. Самый легкий способ заставить двигаться робота по складу – это движение по линиям. При этом используются инфракрасные датчики (или другие устройства, способные обнаружить линию) для позиционирования робота во время движения. Движение робота по маркировке (по линиям) будет выглядеть как движение поезда по рельсам. Такой метод достаточно прост и надежен. Теперь есть возможность отобразить все траектории пути робота. Такие пути со всеми развилками хорошо представляются в виде графа, что позволяет абстрагироваться от материального мира. Единственным минусом является невозможность уйти с колеи. И в то же время при возникновении исключительных ситуаций (например: робот потерял линию) он становится "беспомощным", и первоственной задачей для него станет вернуться "на рельсы".

Другой вариант: отслеживание движения робота видеокамерой сверху (прикрепленной к потолку). В этом случае робот независим в своих передвижениях в отличии "движения по линиям" и ограничивается только территорией, охваченной видеокамерой. Такое преимущество компенсируется сложностью распознавания робота-грузчика и необходимостью хорошего освещения (от чего получаем изрядные затраты на электроэнергию).

## **4. Программное обеспечение**

Такое ПО будет управлять всеми роботами-грузчиками посредством беспроводного соединения, посылая команды и принимая данные о местоположении.

Это будут высокоуровневые команды, независимые от самого движения робота. В то же время ПО выполняет другие более интеллектуальные задачи:

- 1) планирования во времени;
- 2) выбор места на складе;
- 3) поиск оптимального пути движения робота.

ПО, которое будет управлять складом и решать вышеперечисленные задачи, совершенно абстрагируясь от его материальной стороны, моделирует склад. Моделируемый склад является информационной составляющей автоматизированного склада. Он отображает обстановку (передвижение роботов-грузчиков и местоположение товаров) на складе в режиме реального времени (рис.2).

### **Описание автоматизированного склада:**

Проблемная среда – это местность склада с товаром и роботами-грузчиками.

### **Свойства проблемной среды[1]:**

#### **• Полностью наблюдаемая**

Автоматизированный склад обладает полной информацией о местоположении и состоянии: роботов-грузчиков и товаров. Имеет карту проходимости по складу.

#### **• Детерминированная**

Состояние склада полностью зависит от действий роботов-грузчиков. В принципе, в полностью наблюдаемой детерминированной среде агенту не приходится действовать в условиях неопределенности.



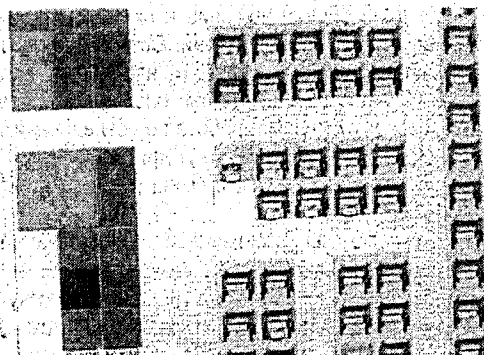


Рисунок 2 – ПО "Kiva Systems"

- **Последовательная**

От начала поступления новой команды (отправка или доставка товара), кроме самой задачи команды, необходимо решать задачи с планированием, т.к. кратковременные действия могут иметь долговременные последствия. Т.е. последовательные варианты расположения товаров на складе могут повлиять на все будущие решения. Например, выбранное место на складе может перегородить путь для передвижения других товаров. Чтобы избежать таких ситуаций, необходимо "думать" наперед.

- **Дискретность и непрерывность времени**

С одной стороны, среда непрерывна, т.к. все процессы на складе происходят в реальном времени. В то же время виртуальный склад имеет дискретные состояния. Обмен данными с роботами-грузчиками тоже осуществляется дискретно.

**Преимущества автоматизированного склада**

- **Легкость в обращении.**

От работника такого склада требуется лишь ввести данные о товаре, который ему нужно отправить или взять со склада. Теперь не нужно думать, куда поставить и где найти требуемый товар.

- **Эффективное использование свободного места на складе.**

Во-первых, вид товара никак не привязан к своему месту на складе, тем более, если количество видов товаров огромно. В принципе, любой товар может находиться в любом месте на складе. Во-вторых, нет необходимости выделения отдельного магистрального пути, если такое решение сможет найти и сгенерировать сам автоматизированный склад.

- **Эффективное расположение товара.**

Некоторые товары будут востребованы чаще, чем другие. Поэтому разумнее такие товары размещать ближе, а менее востребованные товары – дальше места разгрузки. Автоматизированный склад, цель которого как можно быстрее доставить товар к месту разгрузки товаров, может сам запоминать, вычислять частоту потребности товаров. В следующий раз, когда появится такой же товар, система будет знать, как его разместить: ближе или дальше от места разгрузки товаров. Таким образом, можно сказать, что такой склад самообучаемый.

### Заключение

В данной статье было дано общее описание и актуальность автоматизированного склада, его принципы и сложности в организации. Основная идея заключается в перемещении самих товаров к складским рабочим, а не наоборот. При автоматизации склада, повышается скорость и точность выполняемых операций (доставка и отправка товаров). На данный момент авторами ведется работа по исследованию и разработке алгоритмов, связанных с задачами, которые возникнут при организации такого склада. Описанный в данной статье автоматизированный склад является фактически роботизированным складом.

Несмотря на то, что такие склады организуются, они все еще слишком дорогие. Исходя из опыта существующих проектов в США, можно сказать, что роботизированный склад стоит примерно 0,5-1 миллион долларов на каждую тысячу квадратных метров склада. В эту цену включается стоимость оборудования, монтаж и строительство всех конструктивных элементов внутри здания, запуск в работу, обучение персонала.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рассел, С. Искусственный интеллект: Современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – 2 изд., 2007. – 86-88 с.

УДК 004.021

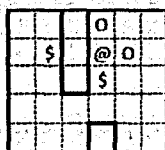
Никонович В.Б., Михневич В.А.

Научный руководитель: доцент Дунец А.П.

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ «СОКОВАН» НА БАЗЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КАРТЫ ИГРЫ В АГЕНТНУЮ СИСТЕМУ

«Sokoban» – это логическая игра-головоломка. По своей сути игра сокобан – это виртуальная модель склада, где главный герой (кладовщик) должен расставить все ящики на заранее заданные позиции. Математики-теоретики причисляют эту задачу к классу пр-сложных задач, таких как шахматы, шашки или кубик Рубика. Универсального алгоритма решения этой задачи до сих пор никем предложено не было, несмотря на то, что исследования ведутся уже давно. Актуальность решения этой задачи переоценить невозможно, поскольку она является подклассом более общей задачи поиска пути. Но основным стимулом к разработке описанного ниже подхода послужила перспектива использования этих алгоритмов в автоматизированных складах, обслуживаемых роботами.

Предположим, что имеется следующая карта игры сокобан (рис. 1):



o – точка  
\$ – ящик  
@ – толкатель

Рисунок 1 – Начальная карта

Первым делом необходимо узнать, каким образом можно попасть в точку, то есть из каких координат. Для этого требуется рассчитать матрицу достижимости. Принцип её расчёта сходен с волновым алгоритмом, но маркер в координату ставится при выполнении определённого условия. Это условие следующее, чтобы поставить маркер в точку  $i+1$ , требуется, чтобы точка  $i+2$  также была свободна. Такое требование возникает в результате того, чтобы затолкнуть ящик в маркированную точку, сокобан должен стоять в противоположной стороне от маркера.

Выглядит матрица глобальной достижимости следующим образом (рис.2):

	7		5	0	
	6		4	1	
	5	4	3	2	

Рисунок 2 – Матрица глобальной достижимости точки

Далее, после вычисления матрицы достижимости требуется вычислить матрицу перемещения ящика. Для вычисления этой матрицы нам требуется иметь возможность вычислять достижимость сокобаном определенной точки. Например, чтобы переместить ящик на ЮГ, сокобан должен толкнуть его с СЕВЕРА. Поэтому перед тем как поставить маркер с юга, нужно проверить достижимость сокобаном северной точки. Предположим, что мы реализовали этот алгоритм, тогда матрица перемещения ящика будет выглядеть следующим образом (рис.3):

6	1	9	8	9
5	5	8	7	8
4	1	7	6	7
3	2	3	4	5
4	3	4	6	7

Рисунок 3 – Матрица глобального перемещения ящика

После вычисления всех матриц достижимости и матриц перемещения ящиков требуется вычислить приоритет точек. Это нужно сделать для того, чтобы после установки ящика на точку, этот ящик не заблокировал подходы к другим точкам и тем самым не завёл игру в тупик. Вычисляется приоритет следующим образом. Делим все ящики на группы. Количество групп равно количеству точек, и каждая точка соответствует одной из групп. Ящик будет находиться в группе, если он находится в зоне достижимости точки, соответствующей этой группе. Для рассматриваемого случая эти группы будут иметь следующий вид:

- $Группа1(0,3) = \{(1,1), (2,3)\}$
- $Группа2(1,4) = \{(1,1), (2,3)\}$

В данном примере оба ящика могут попасть в любую точку, поэтому тут нет ограничения как на соответствие ящика точке, так и на порядок помещения ящиков на точки.

Алгоритм поиска гипотез и приоритетов следующий. Первым делом требуется найти самую маленькую группу. После нахождения такой группы берём первый ящик из группы и проверяем эту пару на соответствие необходимым условиям. Если условия выполнены, то присуждаем этой точке высший приоритет № 1 и удаляем эту группу из списка групп, а также удаляем этот ящик из всех групп. Затем увеличиваем счётчик приоритета до № 2 и повторяем описанную выше процедуру снова. Так продолжается до тех пор, пока список групп не станет пустым. Если же необходимые условия не выполнены, то переходим к следующему ящику в этой группе и делаем проверку на необходимые условия с новым ящиком. Если точка не удовлетворяет условиям ни с одним ящиком, то её приоритет не равен № 1, поэтому переходим к следующей по размеру группе и проводим описанную выше процедуру.

Выше упоминалось соответствие необходимым условиям. Проверяется возможность соответствия точки ящику с определенным приоритетом. Для этого нужно удалить проверяемый ящик с карты игры и поставить на проверяемую точку стену(непроходимое препятствие). Затем вычислить матрицы достижимости для всех оставшихся точек и матрицы перемещения для всех оставшихся ящиков. И проанализировать эти матрицы следующим образом:

- Если все точки имеют в зоне достижимости хотя бы один ящик.
- Если каждый ящик может попасть хотя бы в одну точку.

Если эти два условия выполняются, то считается, что данная пара ящик-точка удовлетворяет условию, поэтому она может считаться успешной и получить соответствующий

щий приоритет. Для рассматриваемого примера приоритеты и гипотезы будут следующими:

*PriorityHypo:*  $\{ [ (1, 4), (1, 1) ], [ (0, 3), (2, 3) ] \}$

После того как появились гипотезы о соответствии ящика точке, можно начинать превращать ящик в агента, для которого точка будет являться локальной целью.

Выполнять превращение начинаем с вычисления локальных правил перемещения агента. Осуществлено это будет следующим образом. Нужно пересечь матрицу достижимости точки и матрицу перемещения соответствующего точке ящика. На выходе получаем матрицу перемещения агента. Осуществляется это очень просто, из матрицы перемещения ящика удаляем все маркеры, находящиеся за пределами зоны достижимости точки.

Выглядит это следующим образом:

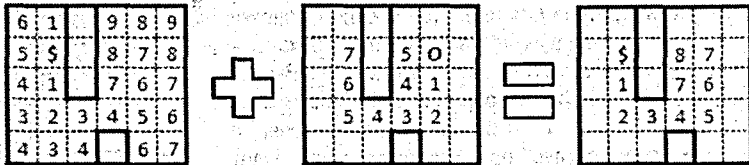


Рисунок 4 – Вычисление матрицы перемещения агента

Теперь можно из карты-ситуации игры сокобан получить мультиагентную систему. Остаётся только реализовать прозрачный интерфейс управления толкателем через призму мультиагентного подхода.

Преобразование движения агента в движение толкателя выполняется в два этапа:

- Выполнить трекинг агента до пункта назначения.
- Выполнить трекинг толкателя до каждого шага агента.

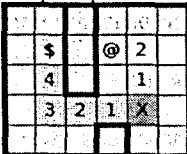
Сам трекист содержит последовательность действий для объекта, в случае с игрой сокобан, объект может совершить только четыре вида действия:

- Движение на ЮГ (Ю)
- Движение на СЕВЕР (С)
- Движение на ВОСТОК (В)
- Движение на ЗАПАД (З)

Для вычисления трекинга пути агента пользуемся следующим алгоритмом:

1. Вычислить матрицу локальной достижимости до цели агента.
2. Найти области вокруг агента маркер с наименьшим номером.
3. Записать направление, по которому найден маркер в конец трекиста.
4. Переместить агента на место маркера.
5. Проверить, не достигнута ли цель. Если достигнута, то завершить формирование пути. Если еще не достигнута, то вернуться к пункту (2).

Например:



На картинке выше символом «X» обозначена цель агента. А серым цветом выделен его путь. Трекист агента в данной ситуации будет выглядеть следующим образом:

*Tracklist* = {Ю, Ю, В, В, В}

После того как закончили вычисление пути агента, требуется выполнить трекинг толкателя. Алгоритм используется

Рисунок 5 – Путь агента к цели

то же что и для трекинга агента. Разница лишь в том, что цель для задаётся на основе треклиста агента.

Выглядит это так:

1. Из треклиста агента выбирается очередное направление.
2. Выполняется вычисление и занесение в треклист пути толкателя до точки, находящейся в противоположном направлении от агента.
3. К треклисту толкателя добавляется выбранное направление агента.
4. Агент перемещается по выбранному направлению.
5. Из треклиста агента удаляется выполненное действие.
6. Если треклист агента пуст, то заканчиваем формирование треклиста толкателя. Иначе возвращаемся к пункту (1)

В результате в треклист запишется путь, который должен пройти толкатель для того, чтобы агент попал в заданную цель.

Например: (треклист для первого хода агента)

1	X			12	11	12
2	\$		@	10	11	
3	4		8	9	10	
4	5	6	7	8	9	
5	6	7		9	10	

Рисунок 6 – Путь толкателя к агенту

На рисунке выше символом «X» выделена цель толкателя, а серым отмечены позиции, через которые он должен пройти. Треклист толкателя в данной ситуации будет выглядеть следующим образом:

$Tracklist = \{Ю, Ю, 3, 3, С, 3, С, В, Ю\}$

В результате имеем алгоритмы преобразования игры сокобан в агентную систему, а также имеем алгоритмы для прозрачного управления игрой через сформированную агентную систему. Тем самым образовался более высокий уровень абстракции. Он позволит применять популярные мультиагентные подходы к задаче сокобан. Планируется провести имитационное моделирование и проверить эффективность разработанных алгоритмов.

УДК 004.896:621.865

Склипус Д. Б.

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

## РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ АУТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА

В последнее время наблюдается увеличение доли бытового использования автономных мобильных роботов; благодаря широкому распространению дешевых и простых в реализации средств связи и портативных вычислительных систем для данного направления робототехники прогнозируется скачкообразный рост. Ведущие профильные вузы реагируют на наличествующий и ожидаемый в будущем спрос введением дополнительных учебных курсов.

Соответствующие лабораторные практикумы чаще всего строятся на базе различных виртуальных сред моделирования. Изучение программирования электронных устройств невозможно без практических экспериментов, и это особенно важно в случае управления автономной мобильной системой. Такой аппарат в своей физической реализации взаимодействует с широким спектром факторов и воздействий окружающей среды, подвержен ряду физических закономерностей, учет которых нехарактерен для систем мо-

делирования и никогда не встречается в виртуальном окружении в полном объеме. Т.о. разработка лабораторного мобильного стенда на базе программируемого микроконтроллера для решения учебных задач представляет несомненную практическую актуальность. Для данной цели нами разработана линейка автономных мобильных роботов с SRS локальным и дистанционным компьютерным управлением.

Для разработанной линейки SRS был сформулирован набор типовых навигационных задач, позволяющий на практике освоить технологию алгоритмизации управления и микроконтроллерного программирования автономного мобильного устройства. Список первичных задач включает неуправляемое движение с автоматическим обгибанием препятствий, движение в пределах фиксированной траектории, заданной черной линией, следование вдоль протяженного препятствия, а также варианты движения к конечному пункту на основе анализа изображения, полученного от веб-камеры.

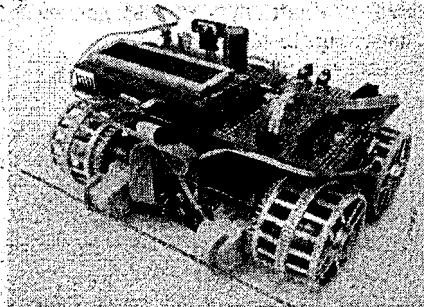


Рисунок 1 – Робот SimpleBot – первая модель в линейке SRS

**Неуправляемое движение с объездом препятствий.** Данная задача наиболее широко освещена тематическими информационными источниками, так как требует минимального аппаратного обеспечения и является простой в алгоритмизации. Алгоритм заключается в следующем: робот движется по прямой, а при обнаружении препятствия поворачивает на случайный угол и продолжает дальнейшее движение. Данный алгоритм был опробован на роботе SimpleBot, изображённом на рисунке 1, который являлся первой и наиболее простой моделью в линейке. Данный робот обладал тактильными датчиками в виде клавиш от стандартной клавиатуры ЭВМ [1].

**Движение по чёрной линии.** Эта задача – следующая по сложности реализации. Алгоритм обеспечивает движение робота по маршруту, заданному нанесенной на поверхность пола чёрной линией. Для устойчивого распознавания маршрута существуют геометрические и колориметрические требования к чёрной линии [2]. Для проведения практических экспериментов был специально разработан робот CDDR, изображённый на рисунке 2.

Робот обладает двадцатью датчиками чёрной линии и инерциальными тактильными сенсорами. Было решено не ограничиваться прямой линией, а добавить обработку перекрёстков и длинных кривых. Алгоритм основывается на последовательном преодолении перекрёстков, соответствующих описанным требованиям. Если робот движется вдоль левой границы чёрной линии, он повернёт налево на ближайшем перекрёстке, но если он двигался вдоль правой границы чёрной линии, то повернёт направо. Для исключения каких-либо поворотов и гарантированного прямолинейного движения робот движется

без отклонений вправо и влево. Данный алгоритм может быть применён для уже известных карт чёрной линии. Иначе при попытке двигаться в сторону, где нет чёрной линии (например, вперёд на Т-образном перекрёстке), направление движения робота будет не определено. Определение перекрёстков возможно одним из двух методов. Первый подразумевает сравнение со всеми возможными типами перекрёстков, число которых в нашем случае равняется  $2^{20}$ . В связи с недопустимой трудоёмкостью данного процесса был выбран метод, подразумевающий объединение возможных типов перекрёстков в обобщённую модель, включающую в себя Х- и Т-образные перекрестки, а также повороты. В рамках данного подхода была разработана функция для определения положения робота на перекрёстке. Входными данными для неё являются двумерный массив, описывающий состояние датчиков чёрной линии. Возвращаемое значение имеет логический тип: 1 обозначает нахождение робота на перекрёстке, а 0 – на участке чёрной линии. Оценка эффективности алгоритма проводилась по двум параметрам: безопасности и скорости.

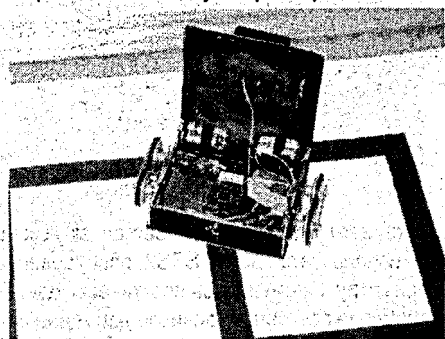


Рисунок 2 – Робот CDDR

На рисунке 3 представлено условное изображение траектории движения робота, задающей маршрут чёрной линии, а также площади, образованной пересечениями этих кривых. Безопасность оценивается по формуле  $B = S/l$ , где  $l$  – длина отрезка, а  $S$  – площадь. Чем меньше значение  $B$ , тем более безопасным является движение робота с точки зрения возможных столкновений и необратимой потери маршрута. Безопасность движения может быть также охарактеризована величиной граничного расстояния – максимального расстояния, на которое робот может удалиться от чёрной линии в рамках выполнения поставленной задачи. В большинстве случаев это расстояние не превышает ширины корпуса робота. Для определения площади  $S$  применен теоретический подход на основе использования интегрального исчисления.

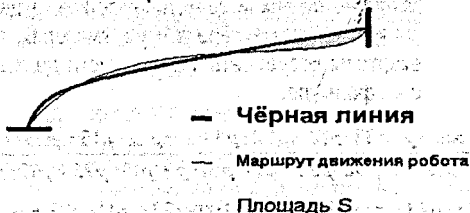


Рисунок 3 – Схематическое изображение маршрута робота, чёрной

линии и площади, образованной этими кривыми

Критерием оценки эффективности робота также является отношение скорости его движения с учетом задержек на перекрестках к скорости движения по прямой черной линии. В проведенных экспериментах это отношение составило 4 см/с / 5.5 см/с или 0.28. [2, 3]

**Движение вдоль стенки.** Данная задача является актуальной для роботов, движущихся в лабиринте. Она была решена за счёт двух подходов: контактного и бесконтактного. В первом случае применялся робот Robotmega, оборудованный восьмью тактильными датчиками по периметру робота. Робот изображён на рисунке 4.

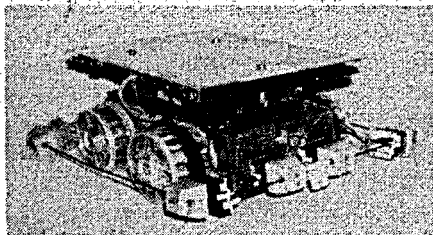


Рисунок 4 – Робот Robotmega

Второй подход предполагает использование бесконтактных пороговых датчиков препятствий. В этом случае используется робот SRS2, оборудованный восьмью датчиками, расположенными по периметру. Применялись практически одинаковые алгоритмы работы в обоих случаях. Robotmega показал устойчивое движение вдоль стенки; также робот успешно огибал углы с внешней и с внутренней стороны. В связи с дистанцией, на которой срабатывали бесконтактные датчики робота SRS2, робот аппроксимировал значительные участки пути, например, туннели. Решение данной задачи невозможно только за счёт алгоритмизации и требует изменения аппаратурной составляющей робота.

**Движение из точки А в точку В на основе анализа видеоизображения.** Одним из рассмотренных выше вариантов, пригодных для решения данной задачи, является движение по чёрной линии. Но более актуальны методы, позволяющие сохранять правильную траекторию движения без разметки. Нами были исследованы два способа движения. Один способ – это использование внешнего вычислительного центра и видеокмеры для наблюдения за полем действия робота и управление им. На рисунке 5 изображено схематическое расположение робота и камеры; для лучшего распознавания робота на его корпусе устанавливается яркий светодиод зелёного цвета. После обработки изображения и получения координат маркера  $x$  и  $y$  в пикселях, требуется провести их пересчёт в реальные декартовы координаты на плоскости движения робота. Пересчет выполняется по следующей формуле:

$$X = Z \cdot \frac{y \cdot p_{32} \cdot p_{13} - y \cdot p_{33} \cdot p_{12} + p_{22} \cdot p_{33} \cdot x - p_{22} \cdot p_{13} - p_{23} \cdot x \cdot p_{32} + p_{23} \cdot p_{12}}{-x \cdot p_{31} \cdot p_{22} - x \cdot p_{32} \cdot p_{21} - p_{11} \cdot p_{32} \cdot y + p_{11} \cdot p_{22} + p_{12} \cdot p_{31} \cdot y - p_{12} \cdot p_{21}}$$

$$Y = -Z \cdot \frac{-x \cdot p_{31} \cdot p_{23} + x \cdot p_{33} \cdot p_{21} - p_{11} \cdot y \cdot p_{33} + p_{11} \cdot p_{23} + p_{13} \cdot y \cdot p_{31} - p_{13} \cdot p_{21}}{-x \cdot p_{31} \cdot p_{22} - x \cdot p_{32} \cdot p_{21} - p_{11} \cdot p_{32} \cdot y + p_{11} \cdot p_{22} + p_{12} \cdot p_{31} \cdot y - p_{12} \cdot p_{21}}$$



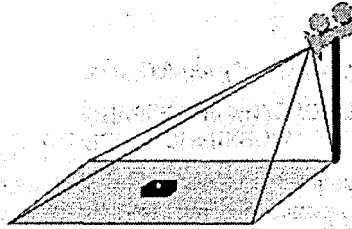


Рисунок 5 – Схематическое расположение робота и камеры наблюдения

Второй способ – это когда камера устанавливается на корпусе робота, и робот ищет цель самостоятельно, основываясь на параметрах датчиков и анализе видеопотока. В качестве цели было решено использовать яркий источник света (горящая свеча). На рисунке 6 изображены два окна программы, иллюстрирующие особенности определения расстояния до препятствия. Анализ расстояния основывается на площади светового пятна.

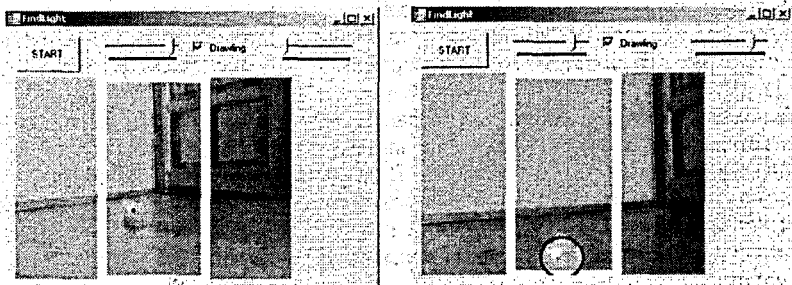


Рисунок 6 – Окна программы ведения робота на цель

Для этих экспериментов использовался робот SRS2, изображённый на рисунке 7.

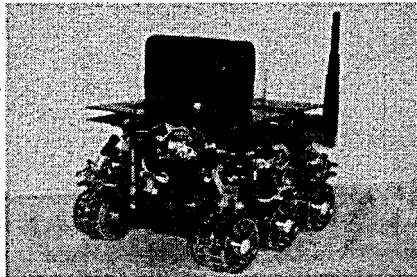


Рисунок 7 – Робот SRS2

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Склипус, Д.Б. Микроконтроллерная лаборатория: сб-к тезисов по секции «Информатика» // Междунар. конф. «VI Колмогоровские чтения». – Москва; 2006. – С. 26.
2. Склипус, Д.Б. Алгоритм движения по черной линии для автономного мобильного робота: сб-к курсных научных работ студентов и магистрантов. – Брест, 2009. – Ч. 1. – С. 122-125.
3. Склипус Д.Б. Робот SRS. [http://www.prorobot.ru/nauka/Skipus\\_Robot\\_System.doc](http://www.prorobot.ru/nauka/Skipus_Robot_System.doc) – Дата доступа 23/12/2008
4. Склипус, Д.Б. Автономный робот // <http://google.sites/skipusrobotssystem.com>. – Дата доступа 1/10/2009.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЕБ-УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Автономные мобильные роботы находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Круг решаемых с их помощью задач включает как автоматизированную доставку грузов и изделий, так и работу в зоне, недоступной или опасной для человека.

Для современных небольших роботизированных устройств требуются значительные вычислительные мощности. Одним из возможных конструктивных решений такого устройства является использование неподвижного вычислительного центра, а также подсистемы первичной обработки и передачи информации, смонтированной непосредственно на мобильной платформе робота. Данный подход позволяет реализовать гибкую и миниатюрную мобильную платформу, не затрачивая значительных средств на ее разработку.

В данной статье рассматривается разработанная нами подсистема передачи данных для отработки алгоритмов дистанционного управления от стационарной вычислительной системы с веб-интерфейсом, ориентированная на применение в учебной лаборатории [1, 2].

Так как конструкция робота предполагает использование типового стационарного компьютера, требуется обеспечить устойчивый обмен данными между роботом и базой по одному из стандартных интерфейсов. В результате, набор требований, предъявляемых к подсистеме беспроводной связи, может быть сформулирован следующим образом:

1. Устойчивая работа в помещении в пределах зоны 4\*4 метра (обуславливается функционированием робота без значительного удаления от базы и в пределах одной комнаты);

2. Пропускная способность канала должна быть достаточна для передачи видеопотока стандартной веб-камеры;

3. Дешевизна и доступность комплектующих, а также простота их использования.

Среди видов беспроводной связи, принципиально применимых в рамках заданных ограничений, следует выделить следующие.

а) Промышленный радиомодуль. В современной индустрии выпускается огромное количество различных радиомодулей; область их применения достаточно широка. Например, модуль Radiocraft RC1040 обладает следующими характеристиками: скорость передачи 19200 бит в секунду, модулируемая частота сигнала 433,33 МГц, возможность создания сети из 255 устройств. Как видно, данное устройство в полной мере удовлетворяет поставленным ограничениям, однако не является ни достаточно простым в использовании, ни дешевым, т.к. имеет рыночную стоимость около 30 евро.

б) Блок управления от радиомодели. Учитывая широкое распространение игрушек с радиоуправлением и дешевизну, достигнутую китайскими производителями, с финансовой стороны передатчик от радиомодели является наиболее целесообразным вариантом. Поэтому такой подход получил значительное распространение; в ряде интернет-ресурсов, например [3], приводятся инструкции по демонтажу такого радиомодуля. Главным минусом этого решения – односторонняя связь.

в) Wi-Fi. Для обеспечения связи может использоваться одно из оснащенных Wi-Fi модулем мобильных устройств (получивших в последнее время достаточно широкое распространение). Также для передачи данных можно использовать беспроводные USB-

модемы, выпускаемые рядом фирм для подключения к беспроводной сети ноутбуков, лишенных встроенного WiFi-модуля.

г) Bluetooth. Также для обеспечения связи с роботом может использоваться интерфейс Bluetooth. Данный интерфейс обеспечивает достаточную скорость передачи данных. Множество современных мобильных устройств оснащается данным интерфейсом; также выпускаются USB и COM-модули.

д) Радиодлинитель интерфейсов ЭВМ rs232 и USB. Преимуществом подобных устройств является то, что они избавляют разработчика от необходимости вникать в особенности беспроводной передачи данных, позволяя ограничиться только знанием имитируемого проводного протокола.

В ходе анализа приведенных вариантов для передачи команд роботу был выбран радиодлинитель Conexx AIR RS232. Это решение характеризуется высокой надёжностью, относительной простотой подключения. Также на выбор повлиял факт наличия данного модуля.

Для передачи видеосигнала использован отдельный радиоканал. В качестве видеокамеры использовано мобильное устройство на базе Windows Mobile 6.0, обладающее комплектом беспроводных интерфейсов Bluetooth и WiFi. Наиболее простым интерфейсом является Bluetooth; так же при отсутствии устройства с интегрированным беспроводным интерфейсом модуль Bluetooth был бы дешевле. Общий принцип передачи данных в системе изображён на рисунке 1.

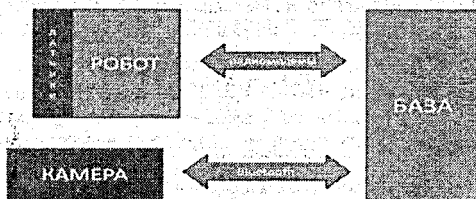


Рисунок 1 – Структура связи в системе

Радиодлинитель Conexx AIR RS232 состоит из двух модулей. Перед использованием радиодлинителя требуется его настройка с помощью идущего в комплекте программного обеспечения. Для управления роботом выбран вариант настройки соединения типа точка-точка. В данном режиме работы модемы эмулируют работу интерфейса RS232 для первых 128 символов кодовой таблицы. Точка доступа подключается к соответствующему порту на плате робота. Вторая точка подключается к COM-порту на персональном компьютере, играющем роль базы. Передача данных осуществляется на скорости 9600 бит в секунду. Для обхода ограничения на использование только первых 128 кодов предлагается проводить программное преобразование следующим образом: каждый байт образовывать из старшего и младшего полубайтов, которые требуется передать. Основная плата робота в качестве вычислительного модуля использует микроконтроллер ATmega32 [4, 5], поэтому требуется провести преобразование уровней из интерфейса USART в RS232C. Данная задача реализована за счёт применения микросхемы MAX232.

Протокол передачи данных основывается на запросах базы и ответах автономного модуля. База передаёт запрос на управление роботом и ожидает отклика о результате выполнения задачи. При успешном выполнении команды автономный модуль возвращает информационное сообщение о результате проведённой работы. Для некоторых

команд сообщение должно нести не только информацию о процессе выполнения команды, но и информацию с датчиков. В соответствии с этим был разработан формат сообщения, изображённый на рисунке 2.

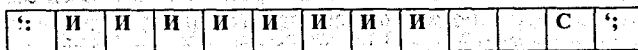


Рисунок 2 – Формат сообщения

Данный формат универсален и используется как для передачи команды, так и для передачи отклика на нее. Первый байт ':' означает начало сообщения, далее идут 8 информационных байтов (перед передачей каждый байт преобразовывается в два семибитных кода). Байтовое поле 'С' служит для хранения контрольной суммы. Символ ';' означает конец сообщения. Также сообщение имеет несколько зарезервированных байтовых полей для возможности расширения.

После всех преобразований сообщение содержит 24 байта. Следовательно, 0.025 секунды тратится на передачу команды. Это позволяет управлять роботом в реальном режиме времени.

При практических экспериментах выяснилось, что радиомодемы вносят дополнительную задержку на 200 микросекунд. Для увеличения скоростных характеристик передачи данных решено отказаться от приёма результирующего сообщения, кроме случаев, когда это действительно необходимо.

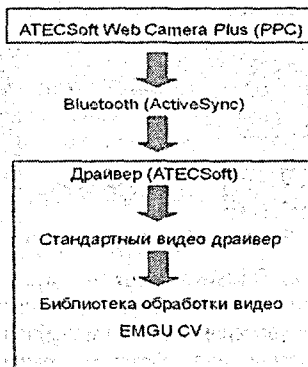


Рисунок 3 – Структурная схема передачи видеосигнала с мобильного устройства на ЭВМ

На рисунке 3 изображена структурная схема передачи видеосигнала. На оснащенное веб-камерой мобильное устройство устанавливается программное обеспечение стороннего производителя ATECSoft WEB Camera Plus. Данная программа посредством беспроводной связи передаёт данные на персональный компьютер. Передача осуществляется за счёт функций стандартной системы обмена данными Microsoft ActiveSync. На персональном компьютере специальный драйвер эмулирует подключённое мобильное устройство как веб-камеру. Для работы оператора базы с видеосигналом использованы функции библиотеки EMGU CV. Функции этой же библиотеки используются для передачи сигнала графическому интерфейсу пользователя, запущенному на центре управления роботом. Первичный интерфейс (рис. 4) написан на платформе .NET. Также в разработке находится WEB-интерфейс на платформе ASP.NET, позволяющий выполнять распределённое управление роботом с любого компьютера, находящегося в одной логиче-

ской подсети с центром управления. На текущий момент в рамках WEB-интерфейса полностью реализовано управление роботом и контроль показаний датчиков, а также прием видеосигнала (последняя подзадача находится на стадии оптимизации кода).

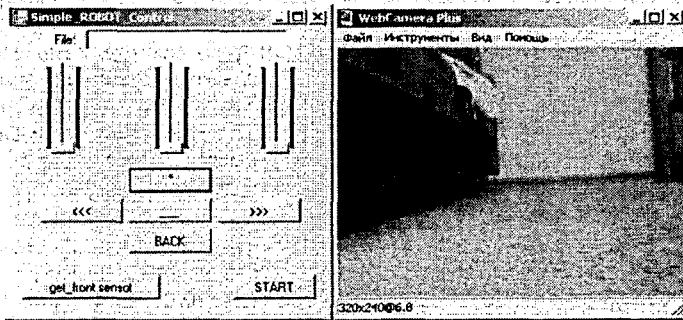


Рисунок 4 – Интерфейс управления роботом

Разработанная система связи была испытана на роботе SRS 2 [5]. Система показала устойчивую работу и приемлемую отказоустойчивость. Одним из минусов системы, изначально заложенным при ее проектировании, является малый радиус действия, ограниченный дальностью уверенного приема интерфейса Bluetooth. Исключение этого ограничения может существенно расширить сферу применения робота – например, позволит обрабатывать алгоритмы машинного ориентирования в сложных помещениях.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Склипус, Д.Б. Микроконтроллерная лаборатория // Информационные технологии управления в экономике 2006. М-лы Респ. науч.-практ. конф. – Брест, 2006. – С. 35.
2. Склипус, Д.Б. Микроконтроллерная лаборатория: сб-к тезисов по секции «Информатика» // Междунар. конф. «VI Колмогоровские чтения». – Москва, 2006. – С. 26.
3. Арсеньев А.А. Conqueror (победитель) – простой многофункциональный робот. <http://ironfelix.ru/modules.php?name=Pages&pa=showpage&pid=117>. – Дата доступа 01.03.2005.
4. Склипус, Д.Б. Алгоритм движения по черной линии для автономного мобильного робота: сб-к курсовых научных работ студентов и магистрантов. – Брест, 2009. – Ч. 1. – С. 122-125.
5. Склипус, Д.Б. Автономный робот // <http://google.sites/skipusrobotssystem.com>. – Дата доступа 1/10/2009.

УДК 681.3

Согоян А.Л., Кочурко В.А.

Научный руководитель: к.т.н., профессор Муравьев Г.Л.

#### ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТЕЙ НА БАЗЕ ВИЗУАЛЬНЫХ ОПИСАНИЙ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

При моделировании систем, особенно для оценки системных характеристик, широко используются стохастические сетевые модели, сети, отдельные системы массового обслуживания. Такие модели отличаются выраженным структурным аспектом, упрощенной функциональной организацией, требуют для описания ограниченного набора графических примитивов, которые и могут составить основу входного языка [1, 2]. Предоставление пользователю возможности визуального описания позволит разрабатывать модели на понятийном уровне при минимальных знаниях в области моделирования.

В работе рассматривается организация имитационного моделирования сетей с использованием визуальных описаний. За прототип визуальных описаний взят язык имитационного моделирования стохастических сетей ИМСС [3]. Язык модифицирован и расширен с учетом потребностей пользователей в описании систем, процессов, объектов, представляемых Q-схемами, а также с учетом требуемой функциональности (например, с учетом инструментальных возможностей, опыта широко используемой системы моделирования GPSS [4]). Учтены требования по процессного (многоуровневого) описания моделей. Учитывалась также необходимость результативности визуальных описаний, достигаемой путем их автоматической трансформации в адекватные исполнимые модели, требования/удобства компьютерной поддержки визуальных описаний, типовых операций их редактирования.

Соответственно графическая схема модели представляется набором типизированных взаимосвязанных узлов (центров), потоками обслуживаемых заявок, описаниями процессов обслуживания потоков заявок. Каждый слой описания отображает маршрут обслуживания одного потока заявок в терминах типизированных узлов. Это узлы управления потоками заявок и копиями (семействами) заявок, узлы обслуживания, узлы управления сбором статистики и др. Узлы управления используются как для безусловно-го так и условного выбора маршрута перемещения заявок, в том числе в зависимости от состояния сети, других узлов (обслуживающих, переключателей), состояний заявок. Узлы задаются параметрами и снабжаются атрибутами, отображающими их текущее состояние и используемыми для управления. Заявки снабжаются параметрами, их значения задаются и интерпретируются пользователем.

Такое представление модельных описаний в разрезе взаимодействия типизированных объектов – узлов создает предпосылки для их реализации в объектно-ориентированных технологиях. Что в свою очередь предполагает разработку иерархии классов, реализуемой в значительной мере механизмами наследования и поддерживающей функциональность набора графических примитивов входного языка и соответствующего набора типизированных узлов.

Структурирование моделей позволяет также в комплексе решать как проблему реализации квазипараллельного выполнения процессов [5, 6], так и снижать трудоемкость моделирования за счет использования многозадачности операционных систем (ОС) и многоядерности компьютеров. Многозадачность ОС позволяет представлять задачи в виде частей (потоков, нитей), выполняемых параллельно и взаимодействующих в едином глобальном пространстве. Предлагается процессное представление параллельностей в модели [5], когда в отдельный поток выделяется функционирование узла, что характерно для структурного описания, а корректность работы таких узлов-потоков обеспечивается использованием встроенных средств синхронизации. При этом средства синхронизации нитей выделяются в отдельную сущность – канал, рассматриваемый как общая для нескольких нитей область памяти. Корректность работы с данными в этой области гарантируется использованием встроенных средств синхронизации.

Было выполнено макетирование системы для случая моделирования сетей массового обслуживания. Для реализации системы использовался язык C++ и среда Builder C++ 2010. Поддержка распараллеливания выполнялась средствами библиотеки VCL, для синхронизации потоков использовались семафоры.

Система классов для поддержки функциональности моделей реализована в виде иерархии, полученной наследованием абстрактного класса потока Thread. На его основе

создан абстрактный класс Node, описывающий общие свойства и поведение узлов. В нем также определены атрибуты, обеспечивающие возможность блокировки-разблокировки выполнения кода узла-потока. Конкретные типы узлов поддерживаются классами, производными от Node и описывающими их специфические свойства и поведение. Это, например, такие классы как: Generate, который реализует работу источников заявок, функционирующих в групповом или одиночном режиме в соответствии с заданными законами, вероятностными распределениями; класс Facility, который обеспечивает функциональность обслуживающих узлов, поддерживает управление фазами работы одно- и многоканальных устройств; класс Storage, который обеспечивает функциональность обслуживающих узлов, обладающих емкостью; класс Advance, реализующий управление фазой задержки заявки, время которой формируется по заданному закону; набор классов типа Test, Gate и др., производных от класса RouteControl и обеспечивающих переключение маршрутов перемещения заявок в зависимости от истинности заданных условий, формируемых на базе атрибутов заявок, состояний узлов, сети, очередей; класс Transfer, обеспечивающий поддержку действий по выбору маршрутов движения заявок в соответствии с заданным распределением вероятностей и другие классы. Для управления активизацией узлов-потоков использовался специальный класс Control. В цикле моделирования каждому узлу предоставляется возможность произвести обработку пришедших заявок. При передаче управления от одних узлов к другим для синхронизации действий используются семафоры. Для учета ситуации циклической передачи управления ведется стек вызовов.

Таким образом, в работе представлены результаты организации имитационного моделирования сетей с использованием визуальных описаний, реализованного на базе иерархии пользовательских классов и средств естественного распараллеливания ОС. Использование рассмотренных в работе графических описаний позволяет с большей наглядностью разрабатывать и верифицировать типовые модели на понятийном уровне.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Советов, Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2001. – 430 с.
2. Муравьев, Г.Л. Подход к описанию q-схем, согласованный с системой моделирования GPSS // Материалы VII международной конференции: Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества / Г.Л. Муравьев, В.И. Хвещук. – Брест, 2004. – Т.1. – С. 73-75.
3. Основы теории вычислительных систем / Под ред. С.А. Майорова. – М.: Высш. школа, 1978.
4. Рьжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю.И. Рьжиков. – СПб.: КОРОНА, 2004. – 320 с.
5. Максимей, И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ / И.В. Максимей. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.
6. Воеводин, В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. – СПб.: BHV-Петербург, 2002. – 609 с.

УДК 551.510.7:645.625.162.4

*Швай Д.Н.*

*Научный руководитель: ст. преподаватель Янусик И.С.*

#### ФОТОРЕЗИСТОР

Зависимость фотопроводимости ряда полупроводников от освещенности используется в фоторезисторах, получивших широкое практическое применение. *Фоторезистор* – это полупроводниковый резистор, действие которого основано на фоторезистивном

эффекте. *Фоторезистивный эффект* – это изменение электрического сопротивления полупроводника, обусловленное исключительно действием оптического излучения и не связанное с его нагреванием. Для возникновения фоторезистивного эффекта необходимо, чтобы в полупроводнике происходило либо собственное поглощение оптического излучения или фотонов с образованием новых пар носителей заряда, либо примесное поглощение с образованием носителей одного знака при возбуждении одноптипных дефектов. В результате увеличения концентрации носителей заряда уменьшается сопротивление полупроводника.

При облучении полупроводника наряду с генерацией неравновесных носителей заряда происходит и обратный процесс – рекомбинация. Через некоторое время после начала облучения устанавливается динамическое равновесие между генерацией и рекомбинацией. При этом избыточная концентрация, например, электронов

$$\Delta n = (1-R)\eta N_{\phi} \tau_n, \quad (1)$$

где  $R$  – коэффициент отражения фотонов от полупроводника;  $\alpha$  – показатель поглощения;  $\eta$  – *квантовая эффективность генерации*, т.е. число возникающих пар носителей при собственном поглощении (или число носителей при примесном поглощении), отнесённое к числу поглощённых фотонов;  $N_{\phi}$  – число фотонов, падающих на единичную поверхность полупроводника в единицу времени ( оно может быть определено как мощность падающего на единичную поверхность излучения, отнесённое к энергии фотона  $h\nu$ );  $\tau_n$  – время жизни неравновесных носителей заряда.

Фоторезистор представляет собой пластину полупроводника (монокристаллическую или в виде тонкой плёнки), на противоположных концах которой созданы омические контакты (рис. 1).

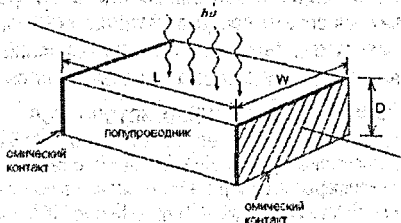


Рисунок 1 – Устройство фоторезистора

Основной частью конструкции фоторезистора является полупроводниковый фоточувствительный слой, который может быть выполнен в виде монокристаллической или поликристаллической пластинки полупроводника или в виде поликристаллической плёнки полупроводника, нанесённой на диэлектрическую подложку. На поверхность фоточувствительного слоя наносят металлические электроды. Иногда эти электроды наносят непосредственно на диэлектрическую подложку перед осаждением полупроводникового слоя [1].

Поверхность полупроводникового фоточувствительного слоя, расположенную между электродами, называют *рабочей площадкой*. Фоторезисторы делают с рабочими площадками прямоугольной формы, в виде меандра или в виде кольца. Площадь рабочих площадок различных фоторезисторов составляет обычно от десяти долей до десятков квадратных миллиметров. Исходя из площади рабочей площадки, можно правильно выбрать размер светового пучка, оценить световой поток, при котором должен работать фоторезистор, и т.д. При эксплуатации фоторезистора рекомендуется его рабочую пло-



щадку засвечивать полностью, так как при этом эффект изменения сопротивления фоторезистора максимален. Подложку с нанесённым на неё полупроводниковым фоточувствительным слоем или пластинку полупроводника помещают в пластмассовый или металлический корпус.

При падении излучения на поверхность фоторезистора в последнем генерируются носители вследствие возбуждения либо междузонных переходов (собственное возбуждение), либо переходов с участием энергетических уровней в запрещённой зоне (примесное возбуждение), что приводит к увеличению проводимости.

Проводимость собственных фоторезисторов описывается формулой  $\sigma = q(\mu_n n + \mu_p p)$ , и увеличение проводимости под действием освещения в основном связано с увеличением числа носителей. Длинноволновая граница фотопроводимости в этом случае определяется из соотношения [3]

$$\lambda_0 = \frac{hc}{E_g} = \frac{1.24}{E_g (\text{эВ})} \quad (1)$$

где  $\lambda_0$  – длина волны, соответствующая ширине запрещённой зоны  $E_g$ .

Излучение с длинами волн, меньшими  $\lambda_0$ , поглощается в полупроводнике с образованием электронно-дырочных пар. В примесном фоторезисторе фотовозбуждение может происходить между краем зоны и энергетическим уровнем в запрещённой зоне. Фотопроводимость может возникнуть в результате поглощения фотонов с энергией, которая равна или превышает энергию, отделяющую примесный уровень от зоны проводимости или валентной зоны. При этом длинноволновая граница фотопроводимости определяется глубиной залегания примесного уровня запрещённой зоне.

Работа фотодетекторов вообще и фоторезисторов в частности характеризуется тремя параметрами:

- 1) квантовой эффективностью или усилением;
- 2) временем фотоответа;
- 3) чувствительностью (обнаружительной способностью).

Рассмотрим процессы, которые происходят в фоторезисторе при падении фотонов.

Пусть в какой-то начальный момент времени  $t = 0$  число носителей, возникших в единице объёма за счёт генерации потоком фотонов, равно  $n_0$ . В последующие моменты времени  $t$  число носителей в том же объёме уменьшается за счёт рекомбинации по закону  $n = n_0 \exp(-t/\tau)$ , где  $\tau$  – время жизни носителей. Другими словами, скорость рекомбинации равна  $1/\tau$ . Если поток фотонов постоянен и распределён равномерно по поверхности фоторезистора с площадью  $A = WL$ , то общее число фотонов, падающих на поверхность в единицу времени, равно  $P/h\nu$ , где  $P$  – мощность падающего излучения и  $h\nu$  – энергия фотона.

В стационарном состоянии скорость генерации носителей должна быть равна скорости рекомбинации. Если толщина прибора  $D$  значительно больше, чем глубина проникновения света  $1/\alpha$ , то общая стационарная скорость генерации носителей в единице объёма равна

$$G = \frac{n}{\tau} = \frac{\eta(P/h\nu)}{WLD} \quad (2)$$

где  $\eta$  – квантовая эффективность (т.е. число сфотогенерированных носителей, отнесённое к числу падающих фотонов) и  $n$  – число носителей в единице объёма (плотность но-

сителей). Фототок, протекающий между контактами, если к фоторезистору приложено напряжение  $U$ , равен

$$I_{\phi} = (\sigma \varepsilon) WD = (q \mu_n n \varepsilon) WD = (q n V_d) WD, \quad (3)$$

где  $\varepsilon = \frac{U}{L}$  – электрическое поле внутри фоторезистора и  $V_d$  – дрейфовая скорость.

Подставляя  $n$  из уравнения (2) в уравнение (3), получим

$$I_{\phi} = q \left( \eta \frac{P}{h\nu} \right) \left( \frac{\mu_n \tau \varepsilon}{L} \right) \quad (4)$$

Определяя исходный фототок как

$$I_{\phi_{исх}} = q \left( \eta \frac{P}{h\nu} \right) \quad (5)$$

получим коэффициент усиления фототока

$$\frac{I_{\phi}}{I_{\phi_{исх}}} = \frac{\mu_n \tau \varepsilon}{L} = \frac{\tau}{t_{\text{прол}}}, \quad (6)$$

где  $t_{\text{прол}} = LV_d$  – время пролёта носителей. Коэффициент усиления, зависящий от отношения времени жизни и времени пролёта, является исключительно важным параметром фоторезисторов. Для образцов с большим временем жизни и малым расстоянием между контактами коэффициент усиления может быть существенно больше единицы. Время фотоответа фоторезистора определяется временем пролёта  $t_{\text{прол}}$ . Поскольку для фоторезисторов характерны большие расстояния между контактами и слабые электрические поля, то их время фотоответа обычно больше аналогичного параметра для фотодиодов [2].

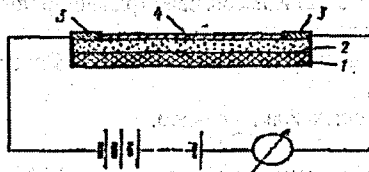


Рисунок 2 – Схема фоторезистора

На рисунке 2 показана схема одного из типов фоторезисторов. Она состоит из тонкого полупроводникового слоя 2, нанесенного на изолирующую подложку 1, металлических электродов, выполненных из благородных металлов 3, посредством которых фотосопротивление включается в цепь и не подвержено коррозии, и защитного лакового покрытия 4. Наиболее чувствительные фоторезисторы изготавливают из сернистого кадмия ( $CdS$ ), у которого фотопроводимость в  $10^5$ - $10^6$  раз превышает темновую проводимость. Широкое распространение получили фоторезисторы из сернистого свинца ( $PbS$ ), чувствительного к далекой инфракрасной области спектра. Используются и другие полупроводниковые материалы. Основным преимуществом фоторезисторов перед вакуумными фотозлементами является высокая световая чувствительность. У селеново-кадмиевых фоторезисторов, например, она примерно в  $10^5$  раз выше, чем у вакуумных фотозлементах. Недостатком фоторезисторов является их инерционность [3].

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Епифанов, Г.И. Физика твёрдого тела. – М., Высшая школа, 1977. – С. 168-173.
2. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир, 1984. – Т. 2. – С. 339-393.
3. Пасынков, В.В. Полупроводниковые приборы / В.В. Пасынков, В.В. Чиркин. – М.: Высшая школа, 1987. – С. 378-393.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

**Бондарь А.В.**

*Научный руководитель: доцент, к.т.н. Семенюк С.М.*

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРЕДЕЛА УСТАЛОСТИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ В УСЛОВИЯХ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ..... 4

**Буйко Е.М.**

*Научный руководитель: доцент Власюк Н.Н.*

ДЕКОРАТИВНАЯ ДОМОВАЯ РЕЗЬБА ЗАПАДНОГО ПОЛЕСЬЯ ..... 7

**Григорович А.В.**

*Научный руководитель: доцент Власюк Н.Н.*

ПРОБЛЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ СИЛУЭТА ЗАСТРОЙКИ ГЛАВНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ БОЛЬШИХ ГОРЮДОВ ..... 12

**Джигило А.В.**

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Игнатюк В.И.*

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ, РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО КОСИНУСОИДАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ, НА ПОКРЫТИЯ КРУГОВОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОЧЕРТАНИЯ ..... 17

**Джигило А.В.**

*Научный руководитель: доцент Игнатюк В.И.*

О СТАТИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ СЕГМЕНТНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ФЕРМ НА ПОСТОЯННУЮ И СНЕГОВУЮ НАГРУЗКУ ..... 21

**Дордюк Т.В.**

*Научный руководитель: ст. преподаватель Воробей А.В.*

ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ И РЕГЕНЕРАЦИИ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ г. БРЕСТА ..... 25

**Дуборева Е.А.**

*Научный руководитель: доцент Ширяева Л.А.*

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЦЕНТРАХ ДОСУГА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ ..... 28

**Желудко А.А.**

*Научный руководитель: ст. преподаватель Воробей А.В.*

ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОРТИФИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ ПЕРИОДА ПЕРВОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ ..... 32

**Крагель Н.Н.**

*Научный руководитель: старший преподаватель Срывкина Л.Г.*

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТРАТ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ..... 36

**Кривицкий П.В.**

*Научные руководители: профессор Малиновский В.Н., доцент Шалобьита Н.Н.*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОНА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК В ЗОНЕ ПОЛОГОГО ОТГИБА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ ПОЛОГО ОТОГНУТОЙ АРМАТУРЫ ..... 40

**Кулик Ю.С.**

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Игнатюк В.И.*

О ВЕЛИЧИНЕ КОЭФФИЦИЕНТА НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ ..... 44

<b>Кусова Ю.Л.</b> <b>Научный руководитель: доцент Власюк Н.Н.</b> СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННО-КОММУНИКАЦИОННОГО ЦЕНТРА ПЛАНИРОВОЧНОГО РАЙОНА ГОРОДА .....	49
<b>Леванович А.В.</b> <b>Научный руководитель: доцент Быков В.Л.</b> РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМОГО СТУПЕНЧАТОГО БРУСА .....	54
<b>Малей Е.С.</b> <b>Научный руководитель: ст. преподаватель Панченко Т.А.</b> ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АРХИТЕКТУРА .....	57
<b>Мартысюк В.С., Харитонович Д.А.</b> <b>Научные руководители: доцент Пчелин В.Н., доцент Юськович В.И.</b> НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ УЗЛОВ СТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОВОДКОВЫМИ ВТУЛКАМИ .....	61
<b>Мартысюк В.С., Харитонович Д.А.</b> <b>Научный руководитель: доцент Пчелин В.Н.</b> РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ УЗЛОВ СТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ С ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМИ ВТУЛКАМИ НА ОСНОВЕ УЗЛОВ СИСТЕМЫ "БргТУ" .....	65
<b>Никитчик Т.А.</b> <b>Научный руководитель: доцент Ширяева Л.А.</b> БРЕСТСКИЙ СВЯТО-НИКОЛАЕВСКИЙ СОБОР. НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ИСТОРИЮ И АРХИТЕКТУРУ XVI-XVII вв. ....	69
<b>Осюк М.А., Курлович А.А.</b> <b>Руководитель: доцент Ширяева Л.А.</b> ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕТОВОГО ДИЗАЙНА ул. ЛЕВАНЕВСКОГО в г. БРЕСТЕ .....	74
<b>Ратайко В.Е., Шведовская Д.В.</b> <b>Научные руководители: к.т.н., доцент Лукша В.В., к.т.н., профессор Шведовский П.В.</b> ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗА ИСТОЩЕНИЯ РЕЧНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕ- СЬЯ .....	77
<b>Ратайко В.Е., Шведовская Д.В.</b> <b>Научные руководители: к.т.н., доцент Лукша В.В., к.т.н., профессор Шведовский П.В.</b> ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА .....	81
<b>Семенюк О.С.</b> <b>Научный руководитель: к.т.н., доцент Игнатюк В.И.</b> О СТАТИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ОДНОПРОЛЕТНЫХ ОДНОЭТАЖНЫХ РАМ НА ВЕТРОВЫЕ НАГРУЗКИ .....	84
<b>Семенюк О.С.</b> <b>Научный руководитель: доцент Чернюк В.П., доцент Семенюк С.М.</b> ЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ХОЛОДИЛЬНЫХ КАМЕР В ГРУНТЕ .....	87
<b>Семенюк О.С.</b> <b>Научный руководитель: к.т.н., доцент Игнатюк В.И.</b> СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ БЕСШАРНИРНЫХ АРОК НА ДЕЙСТВИЕ РАДИАЛЬНО НАПРАВЛЕННЫХ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ НАГРУЗОК .....	92

**Славиковская Д.А.**

**Научный руководитель: доцент Ширяева А.Д.**

ТЕНДЕНЦИИ БУДУЩЕГО РАЗВИТИЯ ДЕТСКИХ ВОСПИТАТЕЛЬНО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ..... 96

**Страпко И.В., Видничук А.Н., Кот Н.Н.**

**Научный руководитель: ассистент Желткович А.Е.**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОГО ВЫГИБА БЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ ПОЛА, ДОРОЖНОГО, АЗРОДРОМНОГО ПОКРЫТИЯ, ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОСНОВАНИЕМ И ПОДВЕРЖЕННОГО ВЫНУЖДЕННЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ РАСШИРЕНИЯ..... 100

**Шевчук С.С.**

**Научный руководитель: ассистент Невейков А.Н.**

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ БЕТОНОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ..... 106

**Яловая Ю.С.**

**Научный руководитель: доцент Мордашко В.И.**

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ ПРОШЛОГО СТОЛЕТИЯ..... 111

**Скалкович Ю.С.**

**Научный руководитель: к. арх., доцент Власюк Н.Н.**

МАЛЫЕ ГОРОДА БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЦЕНТРЫ ТУРИЗМА. НА ПРИМЕРЕ г. ВЫСОКОЕ..... 112

## ПРОБЛЕМЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Антонович Т.С.**

**Научный руководитель: к. т. н., доцент Мешик О.П.**

РЕЗУЛЬТАТЫ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ОТСУТСТВИИ НАДЕЖНЫХ ДАННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ..... 117

**Вдовиченко И.Г.**

**Научный руководитель: д. т. н., профессор Гуринович А.Д.**

СПОСОБ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОПУТНЫМ ЗАБОРОМ ВОДЫ, ВЫРАБОТКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ОЧИСТКОЙ ВОДЫ ОЗОНИРОВАНИЕМ (ВАРИАНТЫ)..... 120

**Власова Т.А.**

**Научный руководитель: д. т. н., профессор Северянин В.С.**

ГЕЛИОУСТАНОВКИ ДЛЯ ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ..... 124

**Гетман В.А., Ефимик С.В.**

**Научный руководитель: к. т. н., доцент Махнист Л.П.**

О ПРИБЛИЖЕНИИ РЕШЕНИЯ ОДНОГО СТОХАСТИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ГИДРОЛОГИИ..... 128

**Журавель О.М.**

**Научный руководитель: ассистент Наумчик Г.О.**

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ УФ-СПЕКТРОМЕТРИИ..... 131

**Казак Е.М., Каменец Ю.В.**

**Научный руководитель: доцент Левчук Н.В.**

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОГО СОСТАВА С ДОБАВЛЕНИЕМ ПАВ..... 138

<b>Коренец Г.В.</b> <i>Научный руководитель: профессор Волчек А.А., Волчек Ан.А.</i> АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОГРАФОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ .....	141
<b>Любчук Ю.Е.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н. доцент Житенев Б.Н.</i> ЖИДКОФАЗНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ПЕСТИЦИДОВ. НА ПРИМЕРЕ ВОДНОГО РАСТВОРА ИМИДАКЛОПРИДА .....	146
<b>Любчук Ю.Е.</b> <i>Научный руководитель к.т.н. доцент Житенев Б.Н.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ ВОДЫ .....	150
<b>Пасюк В.В.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Тур Э.А.</i> ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ РАЗМЕТКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ .....	154
<b>Пшютик Е.Н.</b> <i>Научный руководитель: к.г.н., доцент Шпендик Н.Н.</i> УВЛАЖНЕННОСТЬ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ .....	158
<b>Радюк А.В.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Житенев Б.Н.</i> УДАЛЕНИЕ КРАСИТЕЛЕЙ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ .....	162
<b>Самусевич А.Н.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н. доцент Левчук Н.В.</i> ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ БЕСЦЕМЕНТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК .....	166
<b>Юрчук И.А.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., ст. преподаватель Белов С.Г.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ОЗОНА ДЛЯ ДЕСТРУКЦИИ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ .....	168
<b>Яловая Ю.С.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., профессор Строкач П.П.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ .....	172
<b>Яловая Ю.С.</b> <i>Научный руководитель: профессор, к.т.н. Строкач П.П.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И СТОИМОСТЬ ЖИЛЬЯ .....	174
<b>Ярмак Н.Г.</b> <i>Научный руководитель: доцент Босак В.Н.</i> ИСТОЧНИКИ ОПАСНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ В г. БРЕСТЕ .....	177

### ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

<b>Акулич Р.В.</b> <i>Научный руководитель: ассистент Омесь Д.В.</i> ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СРЕДЕ AUTODESK INVENTOR .....	182
--	-----

<b>Гарбачевский В.В.</b> <i>Научные руководители: к.т.н., доцент Монтик С.В., к.т.н., доцент Санюкевич Ф.М.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ УПРОЩЕННОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ MathCAD.....	186
<b>Гурбанович А.В.</b> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Есавкин В.И.</i> ВИНТОВОЙ РЫХЛИТЕЛЬ ГРУНТА.....	188
<b>Гурбанович А.В.</b> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Есавкин В.И.</i> ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ВИНТОВОГО РЫХЛИТЕЛЯ.....	191
<b>Зиновик М.С.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Прокопеня О. Н.</i> АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ В СРЕДЕ MATLAB .....	193
<b>Касьян Л.В.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Горбунов В.П.</i> АНАЛИЗ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА.....	195
<b>Линник Д.А., Казьмин А.А.</b> <i>Научные руководители: ассистент Концевич П.С., ст. преподаватель Страчук И.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ.....	197
<b>Манцевич А.В.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Голуб В.М.</i> ТОРЦОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ВАЛОВ ГИДРОМАШИН .....	201
<b>Медведев Т.А., Сушков Д.А.</b> <i>Научные руководители: доцент Веремейчик А.И., профессор Сазонов М.И.</i> ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ.....	206
<b>Парфиевич А.Н.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Драган А.В.</i> МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОРОБКИ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕДАЧ ТОКАРНОГО СТАНКА МОД. СН-401 ПО ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ .....	210
<b>Рачковская Д.С.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Григорьев В.Ф.</i> ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА.....	214
<b>Рожков Ю.В.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Медведев О.А.</i> ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕПОДВИЖНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МЕТОДОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	216
<b>Страпко И.В., Кот Н.Н., Видничук А.Н.</b> <i>Научный руководитель: ассистент Желткович А.Е.</i> К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОГО ПРОЛЁТА БЕТОННОГО ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ, РАБОТАЮЩЕГО БЕЗ ВЫГИБА, ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОСНОВАНИЕМ, И ПОДВЕРЖЕННОГО ВЫНУЖДЕННЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ РАСШИРЕНИЯ.....	221

**Сушков Д.А., Медведев Т.А.**  
*Научные руководители: доцент Веремейчик А.И., профессор Сазонов М.И.*  
КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЛАЗМОТРОНА ДЛЯ НАГРЕВА АЗОТА..... 226

**Тристенъ А.В., Семёнов И.Н.**  
*Научный руководитель: м.т.н., ст. преподаватель Страчук И.В.*  
КИНЕМАТИКА КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА..... 231

## ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Брич А.Л.**  
*Научный руководитель: д.т.н., профессор Головки В.А.*  
КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ..... 236

**Войцехович Г.Ю.**  
*Научный руководитель: д.т.н., профессор Головки В.А.*  
ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОДТИПОВ ТРАНЗИТОРНЫХ ИШЕМИЧЕСКИХ АТАК..... 237

**Дёмин В.В.**  
*Научный руководитель: доцент Дунец А.П.*  
МОДЕЛЬ АГЕНТА-ИГРОКА РОБОФУТБОЛЬНОЙ КОМАНДЫ..... 242

**Дёмин В.В.**  
*Научный руководитель: к.т.н, доцент Костюк Д.А.*  
ГРУППОВОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ФОКУСА ОКОН С ПЕРЕМЕННЫМ МАСШТАБИРОВАНИЕМ..... 245

**Дёмин В.В.**  
*Научный руководитель: к.т.н, доцент Костюк Д.А.*  
РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯ РАСШИРЕНИЯ ДЛЯ МИНИАТЮРИЗАЦИИ ОКОН ПРИЛОЖЕНИЙ В ОКОННОМ МЕНЕДЖЕРЕ COMPIZ..... 250

**Дёмин В.В.**  
*Научный руководитель: доцент Дунец А.П.*  
РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ РОБОТА ИГРОКА ДЛЯ ROBOCUP SOCCER SIMULATION SERVER..... 255

**Демчук Ю.В., Швай Д.**  
*Научный руководитель: ст. преподаватель Янусик И.С.*  
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОРЕЗИСТОРОВ..... 260

**Дунец И.П.**  
*Научный руководитель: д.т.н, профессор Головки В.А.*  
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ МИРА МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ..... 263

**Дунец И.П.**  
*Научный руководитель: д.т.н, профессор Головки В.А.*  
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В СИСТЕМАХ САМООБУЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ..... 267

**Ивенкова О.А.**  
*Научный руководитель: ст. преподаватель Тарасюк Н.П.*  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСИТОННЫХ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ..... 269

**Ивенкова О.А.**  
*Научный руководитель: ст. преподаватель Тарасюк Н.П.*  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСИТОННЫХ СПЕКТРОВ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ..... 273



<b>Кочурко В.А., Согоян А.Л.</b> <b>Научный руководитель: профессор Муравьев Г.Л.</b> ПОДХОД К ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВЫХ ОПИСАНИЙ СИСТЕМ .....	276
<b>Кузьмицкий Н.Н.</b> <b>Научный руководитель: к.т.н., доцент Дереченник С.С.</b> КОНТУРНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОКУМЕНТОВ .....	278
<b>Кузьмицкий Н.Н.</b> <b>Научный руководитель: к.т.н., доцент Дереченник С.С.</b> АДАПТИВНАЯ БИНАРИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТЕКСТОВЫХ БЛОКОВ .....	283
<b>Михневич В.А., Никонович В.Б.</b> <b>Научный руководитель: доцент Дунец А.П.</b> ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СКЛАДА .....	286
<b>Никонович В.Б., Михневич В.А.</b> <b>Научный руководитель: доцент Дунец А.П.</b> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ «СОКОВАН» НА БАЗЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КАРТЫ ИГРЫ В АГЕНТНУЮ СИСТЕМУ .....	290
<b>Склипус Д. Б.</b> <b>Научные руководители: доцент Дунец А.П., к.т.н., доцент Костюк Д.А.</b> РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА .....	293
<b>Склипус Д.Б.</b> <b>Научные руководители: доцент Дунец А.П., к.т.н., доцент Костюк Д.А.</b> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЕБ-УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА .....	298
<b>Согоян А.Л., Кочурко В.А.</b> <b>Научный руководитель: к.т.н., профессор Муравьев Г.Л.</b> ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТЕЙ НА БАЗЕ ВИЗУАЛЬНЫХ ОПИСАНИЙ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ .....	301
<b>Швай Д.Н.</b> <b>Научный руководитель: ст. преподаватель Янусик И.С.</b> ФОТОРЕЗИСТОР .....	303

Научное издание

# СБОРНИК КОНКУРСНЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ

Ответственный за выпуск *Сидоревич Н.М.*

Редактор *Строкач Т.В.*

Компьютерная верстка *Кармаш Е.Л.*

Корректор *Никитчик Е.В.*

ISBN 978-985-493-159-3



Издательство БрГТУ.

Лицензия № 02330/0549435 от 08.04.2009 г.

Подписано к печати 18.06.2010 г. Формат 60×84 1/16.

Бумага «Снегурочка». Гарнитура «Arial Narrow».

Усл. п. л. 18,25. Уч.-изд. л. 19,63.

Тираж 100 экз. Заказ № 658.

Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Брестский государственный технический университет»  
224017, Брест, ул. Московская, 267.