

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**

**«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**СБОРНИК КОНКУРСНЫХ  
НАУЧНЫХ РАБОТ  
СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ**

**Часть I**

**Брест 2015**

УДК 624:628+338:339

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

**Рецензент:** к.т.н., профессор, зав. кафедрой ГИТК П.В. Шведовский

В сборнике представлены статьи по проблемам строительства и архитектуры, водохозяйственного строительства, информационных систем и машиностроения, отражающие результаты научных исследований и представленные на Республиканский конкурс научных работ студентов и магистрантов вузов Республики Беларусь. Издаётся в 2 частях. Часть 1.

ISBN 978-985-493-333-7 (ч.1)

ISBN 978-985-493-332-0

**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 Муравьев Г.Л.  
зам. главного редактора: к.э.н., доцент В.С. Кивачук

**Члены редколлегии:** к.т.н., доцент Кандыбо С.Н.  
к.т.н., доцент Монтик С.В.  
доцент Шешко Н.Н.  
ст. преподаватель Войцехович Л.Ю.  
ст. преподаватель Хомицкая Т.Г.

УДК 624:628+338:339

ISBN 978-985-493-333-7 (ч.1)

ISBN 978-985-493-332-0

© Издательство БрГТУ, 2015

**ПРОБЛЕМЫ  
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА И ОХРАНЫ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

УДК 502.55

*Кузьмич Е.И.*

*Научный руководитель: доцент, к.т.н. Шешко Н.Н.*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ**

В современном мире существует проблема энергоресурсов. Человечество развивается и увеличивается в численности с большими темпами, а потребление энергоресурсов увеличивается с ещё большим темпом.

Первичные энергетические ресурсы – это нефть, природный газ, каменный и бурый уголь, горючие сланцы, торф, древесина, а также гидроэнергия и др. Люди только сейчас начали задумываться, что за небольшой промежуток времени человечество израсходовало большую часть всех разведанных запасов энергоресурсов, и при этом с каждым годом увеличивают добычу этих ресурсов. В ежегодном докладе World Energy Council /WEC/ "Мировые энергоресурсы 2013" говорится, что разведанных запасов нефти хватит человечеству на 56 лет, газа – на 55 лет, угля – более чем на 100 лет.

Потребности населения в энергоресурсах увеличиваются с каждым годом, и если дальше будет продолжаться в таком темпе, то в скором времени многие страны перестанут развиваться или просто перестанут существовать.

Многие страны уже начали задумываться об этой проблеме. Выходом из этой ситуации могут быть различные варианты: передача энергии из космоса, переселение людей на другие планеты – для уменьшения потребления энергоресурсов, но все эти варианты не возможны. Одним из возможных и получившим в настоящее время не малое развитие, являются возобновляемые источники энергии. Преимуществ у этой энергии много: нет выбросов загрязняющих веществ; нет постоянных затрат на обслуживание, большой срок эксплуатации. Однако данный подход имеет и ряд недостатков, а именно главным образом это необходимость вывода из оборота больших площадей земель.

Все возобновляемые источники энергии делят на 3 группы:

- энергия ветра;
- энергия воды;
- энергия солнца.

Каждая энергия по своему эффективна, но необходимы определённые условия, которые позволили бы применять в качестве выработки электроэнергии тот или иной источник. К этим условиям относятся: скорость ветра и/или количество солнечных дней на той или иной территории, а также характеристика рек и рельеф местности.

В связи с тем, что территория Республики Беларусь равнинная, то использование воды в качестве возобновляемых источников энергии ограничено, а со скоростью ветра менее 4 м/с эффективность использования энергии ветра незначительна. Наиболее перспективным из возобновляемых источников энергии для территории Республики Беларусь, является солнечная энергия. В отдельных случаях прибегают к комбинированным системам, использующим совместно энергию солнца и ветра, что позволяет увеличить годовую выработку электроэнергии.

В среднем по Республике, количество дней без солнца составляет 104, а среднее количество пикочасов колеблется от 3,43 часов в январе и до 9,32 часов в июне (среднее за год составляет 6,88 часов). Данные параметры незначительны по сравнению, со странами расположенными вблизи экватора, где количество солнечных дней близко к 365 дням, а среднее количество пикочасов за год составляет более 12, но и не малы по сравнению со странами Европы, которые активно используют солнечную энергию.

Как уже говорилось выше, не смотря на то, что население развивается не только в науке и технике, но и увеличивает свою численность, потребности в энергии возрастают с ещё большими темпами.

Всё больше люди ищут новые источники энергии и всё чаще звучит фраза: возобновляемые источники энергии. В частности в данной работе рассмотрим солнечную энергию и применение солнечных панелей в Брестской области.

Основная сложность использования альтернативных источников энергии в частных комплексах заключается в расчёте эффективности электростанции и количестве необходимых элементов энергоснабжения.

В соответствии со всеми сопоставленными факторами, была предложена и создана программа, которая позволяет рассчитать солнечную электростанцию для жилого или производственного комплекса.

Программа состоит из 9 блоков (рис.1.), которые последовательно связаны между собой. Каждый блок отличается друг от друга, как системой расчёта, так и структурой.

Особенностью данной программы является то, что не возможно «перескочить» через блоки, т.е. не возможно перескочить со 2-го блока на 4 и выше, не пройдя 3 блок. Для перехода на следующий блок, создана кнопка «Далее», которая позволяет поэтапно проходить каждый блок. Но в тоже время, предоставляется возможность возврата на любой предыдущий блок.

Рассмотрим их в отдельности.

1 блок. Блок месторасположения.

В данном блоке представлена карта, на которой имеется возможность выбора города, в котором планируется установка панелей. Так же даётся минимальное описание данного города – координаты, количество солнечных дней и иная природно-климатическая информация.

2 блок. Блок потребления.

В данном блоке представлена возможность выбрать или самостоятельно задать электроприборы, которые используются в повседневной жизни. При самостоятельном вводе параметров электрооборудования, необходимо вписать технические характеристики оборудования в определённые ячейки, и при нажатии на кнопку «Расчёт», отобразится потребление электроэнергии данными электроприборами за неделю. Особенностью данного блока является то, что необходимо выбрать электроприборы, которые в повседневной жизни работают одновременно (например: телевизор, компьютер и лампочка).

3 блок. Блок аккумуляторных батарей (АКБ).

Данный блок рассчитывает, сколько необходимо иметь АКБ для помещения, чтобы обеспечить его бесперебойной подачей электроэнергии на протяжении 5-7 дней. В данном блоке необходимо знать одно условие – чем больше ёмкость АКБ, тем меньше их требуется, а также то, что чем выше температура помещения установки АКБ, тем больше их срок службы и производительность.

4 блок. Блок солнечных панелей.

Блок позволяет вычислить требуемое количество панелей. Данный блок не сложен в управлении и главным условием является то, что напряжение солнечных панелей должно быть меньше либо равно напряжению АКБ. Так же как и в 3-ем блоке, тут присутствует условие относительно мощности солнечных панелей – чем больше мощность солнечных панелей, тем меньше их требуется.

5 блок. Блок инвертора и контролёра заряда.

Данный блок состоит из 2 элементов. Для того чтобы рассчитать инвертор и контролёр заряда, достаточно нажать на кнопку «Расчёт» и программа сама рассчитает необходимые устройства.

6 блок. Блок систем.

Данный блок является обобщение выбранных данных в предыдущих блоках и позволяет иметь представление о полученной системе.

7 блок. Блок экономика.

Ни один проект в современном мире не обходится без экономической оценки, и поэтому данный блок создан для того, чтобы была возможность оценки затрат на проектную систему. Не мало важным является то, что данный блок позволяет рассчитать окупаемость установки при 2-ух видах использования электроэнергии:

- при полной продаже электроэнергии государству;
- при личном использовании электроэнергии.

8 блок. Блок экология.

В данном блоке представлен расчёт выбросов загрязняющих веществ по некоторым видам топлива, которые используются для получения электроэнергии. По этому расчёту можно оценить, во сколько раз уменьшатся выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду при использовании данной солнечной электростанции.

9 блок. Блок анализа результат.

Заключительный блок, который анализирует предшествующие проектные решения.

В данном блоке можно на графике увидеть и оценить выработку и потребление электроэнергии солнечной электростанцией и электроприборами соответственно. Так же выводится общее количество электроэнергии, выработанной солнечной электростанцией за год.

Данный блок показывает суммарные затраты на установку солнечной электростанции, а так же годовую экономию энергоресурсов.

Таким образом, проанализировав все блоки данной программы, можно утверждать, что программа проста в обращении и позволяет запроектировать параметры солнечной электростанции, при обосновании экономических затрат и экологического эффекта в результате замещения классических источников энергии.

В качестве примера рассмотрения программы в действии была рассмотрена Брестская область.

Брестская область – расположена в юго-западной части Беларуси, с общей площадью 32,8 тыс.км<sup>2</sup>. На территории области находится 16 районов.

В качестве источника информации по статистическим данным Брестской области был принят статистический сборник «Жилищное строительство в РБ».



Таблица 1 – Жилищный фонд районов Брестской области

Область	Площадь тыс.м <sup>2</sup>	% частных	Средняя площадь дсма	Количество дсмов и квартир, шт	Частных дсмов шт
1	2	3	4	5	6
Барановичский	1 076,6	92,6	100	9 969	4 985
Берёзовский	1 798,2	91,6	100	16 472	8 236
Брестский	1 012,0	92,4	100	9 351	4 675
Ганцевичский	870,7	96,3	100	8 385	4 192
Дрогичинский	1 243,0	97,3	100	12 094	6 047
Жабинковский	724,8	96,4	100	6 987	3 494
Ивановский	1 302,3	97,7	100	12 723	6 362
Ивацевичский	1 701,0	92,8	100	15 785	7 893
Каменецкий	1 052,5	93,1	100	9 799	4 899
Кобринский	2 519,6	94,3	100	23 760	11 880
Лунинецкий	1 815,7	93,9	100	17 049	8 525
Ляховичский	842,7	93,2	100	7 854	3 927
Малоритский	769,0	95,7	100	7 359	3 680
Пинский	1 468,0	95,5	100	14 019	7 010
Пружанский	1 608,3	92,7	100	14 909	7 454
Столинский	2 280,4	96,7	100	22 051	11 026

В соответствии с таблицей видно, что жилищный фонд районов имеет следующий ряд значений – графа 2, из которых % частных – графа 3.

В данной работе за среднюю площадь дома примем 100 м<sup>2</sup> (графа 4), тогда получаем суммарное количество домов и квартир в каждом районе, графа 5. В связи с тем, что данные графы 5 соответствуют суммарному значению жилых домов и частных квартир, то при установке солнечных панелей на количество домов и квартир указанных в графе 5 не будет соответствовать действительной «картине». Проанализировав статистические данные за 2005-2013 года, то число построенных жилых домов по отношению к квартирам равно 1:1, следовательно, 50% от графы 5, это частные дома – графа 6.

Оставив графы 1, 5, 6 и приняв за среднее потребление одним домом или квартирой 350кВт\*ч/мес.- графа 7, то получаем годовое потребление районом графа 8.

Таблица 2 – Энергопотребление

Область	Количество дсмов и квартир шт	Количество частных дсмов, шт	Потребление электроэнергии домом, кВт*ч/год	Потребление электроэнергии р-оном, МВт*ч/год
1	5	6	7	8
Барановичский	9 969	4 985	350	41 871,13
Берёзовский	16 472	8 236	350	69 180,35
Брестский	9 351	4 675	350	39 273,70
Ганцевичский	8 385	4 192	350	35 216,33
Дрогичинский	12 094	6 047	350	50 796,44
Жабинковский	6 987	3 494	350	29 345,70
Ивановский	12 723	6 362	350	53 438,58
Ивацевичский	15 785	7 893	350	66 298,18
Каменецкий	9 799	4 899	350	41 154,86
Кобринский	23 760	11 880	350	99 791,28
Лунинецкий	17 049	8 525	350	71 607,58
Ляховичский	7 854	3 927	350	32 986,65
Малоритский	7 359	3 680	350	30 909,19
Пинский	14 019	7 010	350	58 881,48
Пружанский	14 909	7 454	350	62 617,55
Столинский	22 051	11 026	350	92 616,17



Для расчёта примем частный дом с двухскатной крышей. Размеры дома примем 10\*10 м, а угол наклона крыши 35°. Тогда проведя расчёты, получаем, что площадь одного ската крыши составляет 61 м<sup>2</sup>. За установку примем солнечную панель с мощностью 250 кВт. Данная панель имеет площадь 1,65 м<sup>2</sup>, следовательно разделив эти два показателя, получаем, что на данной крыше возможно установить 37 панелей (на один скат крыши). В случае установки панелей на 2 ската крыши, рентабельность выработки электроэнергии панелей со второго ската мала, т.к. панели находятся в постоянной тени.

Для автономной работы дома, с потреблением 350 кВт\*ч/мес, необходимо установить 20 панелей, но т.к. площадь позволяет установить до 37 панелей, то за установку примем 25 панелей. В соответствии с расчётами, выработка электроэнергии в Брестской области для одной такой станции составляет 8428,13 кВт\*ч/год.

Таким образом перемножив данные графы 6 и годовую выработку, получаем выработку электроэнергии за счёт внедрения панелей только на частных домах в Брестской области – графа 9, указав при этом излишек выработки (графа 10) как разность выработки – графа 9 и потребления – графа 7

Таблица 3 – Выработка электроэнергии

Область	Количество частных домов шт	Потребление районом, МВт*ч/год	Выработка частными домами, МкВт*ч/год	Излишек, МВт*ч/год
1	6	8	9	10
Барановичский	4 985	41 871,13	42 011,35	140,22
Березовский	8 236	69 180,35	69 412,02	231,67
Брестский	4 675	39 273,70	39 405,22	131,52
Ганцевичский	4 192	35 216,33	35 334,26	117,93
Дрогичинский	6 047	50 796,44	50 966,55	170,11
Жабинковский	3 494	29 345,70	29 443,98	98,27
Ивановский	6 362	53 438,58	53 617,53	178,96
Ивацевичский	7 893	66 298,18	66 520,20	222,02
Каменецкий	4 899	41 154,86	41 292,67	137,82
Кобринский	11 880	99 791,28	100 125,46	334,18
Лунинецкий	8 525	71 607,58	71 847,38	239,80
Ляховичский	3 927	32 986,65	33 097,11	110,47
Малоритский	3 680	30 909,19	31 012,69	103,51
Пинский	7 010	58 881,48	59 078,66	197,18
Пружанский	7 454	62 617,55	62 827,25	209,69
Столинский	11 026	92 616,17	92 926,32	310,15

Т.к. излишек энергии положительный, то можно говорить об полном обеспечении электроэнергией как каждого района в отдельности, так и всей области в целом.

Для получения электроэнергии потребляемой областью в целом, необходимо, необходимо сжечь:

- газа: 94090,78 м<sup>3</sup>;
- угля: 108683,02 т.;
- торфа 181363,38 т.;
- древесины 306288,51 т.

В соответствии с ТКП 17.08-01-2006, проведя расчёты для показателей Mso, Mpo, Mso<sub>2</sub>, получаем следующие выбросы для Брестской области в целом:

Таблица 4 – Выбросы загрязняющих веществ

Показатели	Газ	Уголь	Торф	Древесина
1	2	3	4	5
Масса, м <sup>3</sup> (т)	94090,78	108683,02	181363,38	306288,51
М <sub>СО</sub> , т/год	90,66	1 017,33	1 055,33	1 044,45
М <sub>SO<sub>2</sub></sub> , т/год	0	4 207,01	1 517,33	2 096,48
М <sub>NO<sub>x</sub></sub> , т/год	46,54	757,34	447,59	242,30

Но так как появляется излишек энергии, то и эта часть энергии экономит энергоресурсы. Это можно проследить на графах 2-5 (второй таблицы).

И где соответственно показаны выбросы.

В Брестской области за 2013 год при сжигания топлива было выброшено 14,11 тыс. тонн загрязняющих веществ, из которых оксида углерода – 3,81 тыс. т, диоксида серы 6,15 тыс.т., оксида азота – 4,15 тыс.т..

Население Брестской области в 2013 году составило 1 390,4 тыс.чел. и если пересчитать это количество выбросов на 1 человека, то это количество соответственно составит 2,74 кг, 4,42 кг, 2,98 кг.

Таблица 5 – Количество выбросов загрязняющих веществ

Показатели	Масса, тыс. тонн	На 1 человека (2013 г.), кг	Газ	Уголь	Торф	Древесина:
1	2	3	4	5	6	7
М <sub>СО</sub>	3,8072	2,7382	2,7382	2,7375	2,7375	2,7375
М <sub>SO<sub>2</sub></sub>	6,1480	4,4217	4,4217	4,4187	4,4202	4,4202
М <sub>NO<sub>x</sub></sub>	4,1456	2,9816	2,9816	2,9811	2,9814	2,9814
Сумма	14,0108					

С учётом внедрения солнечных панелей, в замен газа, выбросы сократятся и станут: 2,67 кг – 4,42 кг – 2,95 кг:

в замен угля 2,00 кг – 1,39 кг – 2,44 кг;

в замен торфа 1,98 кг – 3,33 кг – 2,66 кг;

в замен древесины 1,98м– 2,91 кг – 2,81 кг;

Это можно проследить на рисунках 2, 3, 4, где явно видно снижение выбросов

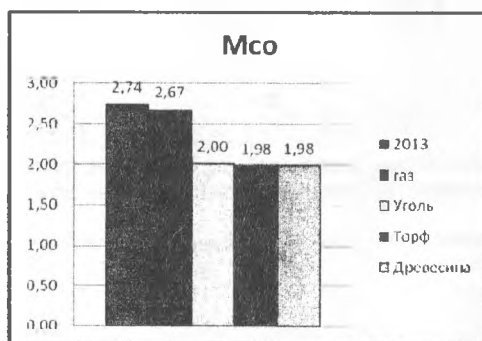
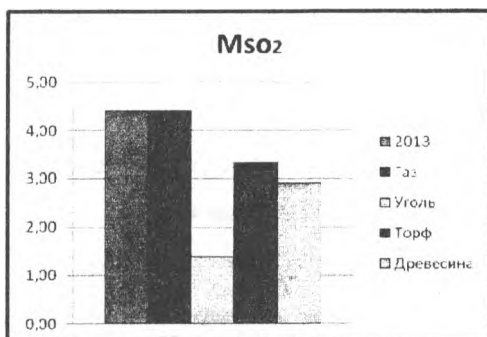
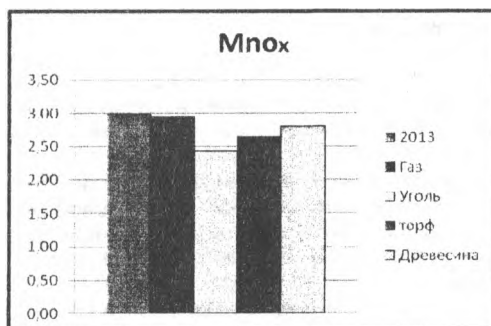


Рисунок 2 – Выбросы М<sub>СО</sub> на 1 человека



**Рисунок 3 – Выбросы  $M_{SO_2}$  на 1 человека**



**Рисунок 4 – Выбросы  $M_{NOx}$  на 1 человека**

В ходе исследования выявлено, что внедрение солнечных панелей в частных домах Брестской области позволит обеспечить все жилые помещения области электроэнергией. Так же исследование показало, что при замещении древесины, как наиболее альтернативного энергоресурса, на солнечные панели, с учётом использования древесины выбросы загрязняющих веществ сократятся на 3,8072 тысяч тонн в год. В частности на 1 человека на:

- $M_{CO}$  - 0,75 кг;
- $M_{NOx}$  -1,51 кг;
- $M_{SO_2}$  - 0,17 кг.

УДК 628.356

*Кучинская Е.Н.*

*Научный руководитель: старший преподаватель Нагурный С.Г.*

#### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННЫХ АЭРАТОРОВ В АЭРОТЕНКАХ**

Целью настоящей работы является исследование возможности применения мембранных аэраторов в аэротенках.

В настоящее время основную функцию в процессах очистки сточных вод от органических и биогенных загрязнений выполняют искусственные биологические сооружения, в основном – аэротенки, различных технологических и конст-

руктивных решений, оборудованные разнообразными типами азраторов (пневматическими, водоструйными, эжекторными, эрлифтными, механическими). Аэрация сточных вод в процессе биологической очистки является наиболее энергоемким процессом, на который приходится 60-90% всех затрат на очистку сточных вод. Кроме того, аэрация - наиболее ответственный процесс, так как концентрация растворенного кислорода и эффективность перемешивания сточной жидкости в азротенке во многом определяют степень окисления органических загрязнений [1].

Азратор – устройство для насыщения воды в очистных сооружениях кислородом воздуха.

Азраторы классифицируются по ряду признаков. Так, по основному для них технологическому признаку – способу подачи и распределения воздуха (кислорода) могут быть отнесены к следующим системам: пневматической, механической, гидравлической и комбинированной. В пределах каждой системы аэрационные устройства также подразделяются по конструктивным признакам, глубине погружения, материалу и т.д. Каждая система аэрации имеет свои определяющие признаки.

Азраторы классифицируют по давлению: низкого (до 10 кПа); среднего (от 10 до 50 кПа); высокого давления (более 50 кПа).

По размеру образующихся на выходе из азраторов пузырьков их разделяют на: мелкопузырчатые (1-4 мм); среднепузырчатые (5-10 мм); крупнопузырчатые (более 10 мм) [2].

В [3] приведены параметры аэрационных систем по Техническому кодексу установившейся практики, в котором обобщен мировой опыт использования аэрационных систем. В соответствии с таблицей 1 наиболее эффективными являются тарельчатые азраторы, которые получили наибольшее распространение в мировой практике.

В Республике Беларусь в настоящее время почти повсеместно используются трубчатые азраторы, изготовленные из пористого полиэтилена. Эффективность этих аэрационных систем в 1,5-2,0 раза ниже тарельчатых азраторов.

В последнее десятилетие в связи с появлением и использованием новых материалов и оборудования (преимущественно зарубежного производства) для диспергирования воздуха повышены надежность и энергетические показатели известных конструкций азраторов, но не исключены, в полной мере, имеющиеся у них недостатки.

У существующих в мировой практике конструкций тарельчатых азраторов имеются недостатки:

- сложность конструкции и, как следствие, высокая стоимость изделия;
- при прекращении подачи воздуха происходит поступление иловой смеси через мембрану внутрь корпуса азратора, при этом происходит отложение примесей в порах мембраны, которые полностью не удаляются при возобновлении подачи воздуха, в результате происходит увеличение сопротивления мембраны, снижение её производительности, ухудшение качества очистки. Это требует подачи воздуха под повышенным давлением, что сопровождается повышенными расходами электроэнергии.

- восстановление поврежденных азраторов требует опорожнения азротенков.

В итоге все это требует существенных экономических и временных затрат, характерным показателем которых является энергосбережение.

Появление в конце 1980-х годов мембранных мелкопузырчатых азраторов позволило значительно увеличить управляемость процесса и снизить засорение аэрационных систем. В настоящее время мелкопузырчатые азраторы с

использованием мембран являются основным оборудованием для систем аэрации.

Основными материалами для производства мембран являются следующие полимеры:

- этилен пропилен диен мономер (EPDM)
- полиуретан
- силикон

Для сточных вод НПЗ (нефтеперерабатывающих заводов), ЦБК (целюлозно-бумажных комбинатов), пищевой промышленности используется полиуретановая или силиконовая основа мембран. Этилен пропилен диен мономер (EDMP) используется как основа мембран для городских, иногда промышленных СВ.

В качестве конструктивной основ для установки мембран используются ПВХ (поливинилхлорид), ПНД (полиэтилен низкого давления), алюминий, реже – нержавеющая сталь.

Передовые производители мембран предлагают современные системы аэрации с эффективностью массопереноса 42-43% для принятой глубины погружения 6м.

Одним из первых патентообладателей на диспергатор с использованием мембран стала фирма Sanitaire (США).

Аэраторы «Flygt/Sanitaire» Швеция. Стопорное кольцо обеспечивает полную герметичность между опорным фланцем и мембранным диффузором с уплотнительным кольцом. В случае уменьшения или отключения подачи воздуха мембрану удерживают поддерживающая пластина и стопорное кольцо. Мембрана имеет щелевую перфорацию, что снижает риск разрыва мембраны. В центре мембрана имеет неперфорированный клапан. При прекращении подачи воздуха клапан перекрывает доступ воды в верхнее воздухопропускное отверстие. Эффективность аэрации в стандартных условиях 2,5 – 6,0 кгО<sub>2</sub>/кВт час.

Широкое применение получили аэраторы фирм «Экополимер», «Экотон», «Этек», «Креал», «Уралставан-инжиниринг».

Компания «Экополимер» предлагает 4 основных типа аэраторов: АКВА-ПРО-М, АКВА-ЛАЙН-М, АКВА-ТОР и АКВА-ПЛАСТ.

Аэрационная система АКВА-ЛАЙН-М. Конструктивной особенностью аэратора АКВА-ЛАЙН-М является съемный диспергирующий элемент. Зазор между диспергирующим элементом и опорной трубой, а также оптимальное расположение отверстий в ней позволяют воздуху равномерно распределяться по длине аэратора. Преимущества: мелкопузырчатая аэрация; высокие массообменные характеристики во всем рабочем диапазоне; устойчивость к гидравлическим ударам; надежность, долговечность; повышенная прочность опорной трубы; равномерное распределение воздуха по всей длине аэротенка; возможность замены диспергирующего элемента.

Аэраторы АКВА-ПЛАСТ (AP-300 М). Конструкция аэраторов АКВА-ПЛАСТ отличается от других аэраторов количеством и расположением отверстий, а также способом крепления мембраны к корпусу и корпуса к воздухораспределительной трубе. Преимущества: высокая массообменная характеристика; устойчивость к агрессивным условиям, низкая склонность к кольматации; высокая надежность, длительный срок эксплуатации и т.д.

Многие производители стремятся применять крупные аэраторы с большой площадью мембраны и длиной изделия или заранее собранные модели, например: сдвоенные диски.

Для комплектации средних и крупных аэротенков мембранными аэраторами предлагается вариант сооружений, называемый «алюминиевый борд» из силикона и EPDM. Это экономит количество воздухопроводящих труб, сокращает сроки и стоимость монтажа.

Сроки службы аэраторов из EPDM составляют 5-6 лет, а силиконовых и полиуретановых – до 8 лет.

Для увеличения срока службы мембран рекомендуется применение воздушной или химической промывки 1 раз в 1-24 месяца, что способствует энергосбережению, т.к. снижает сопротивление системы аэрации.

#### **Заключение**

Основой управляемых процессов биологической очистки являются пневматические мембранные аэраторы, воспринимающие колебания нагрузок по воздуху в достаточно широких диапазонах.

Эффективностью массопереноса современных систем аэрации находится в диапазоне 42-43% для принятой глубины погружения 6 м.

Для увеличения срока службы мембран рекомендуется применение воздушной или химической промывки 1 раз в 12-24 месяца.

При падении эффективности мембранных аэраторов на 20% экономически целесообразно заменить мембраны или систему. Экономически оправданный срок службы мембран может составлять 5-6 лет или не менее 8 лет.

#### **Список цитированных источников**

1. Мешенгиссер, Ю.М. Теоретическое обоснование и разработка новых полимерных аэраторов для биологической очистки сточных вод: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.04 / Ю.М. Мешенгиссер – М., 2005. – 52 с.

2. Худенко, Б.М. Аэраторы для очистки сточных вод // Всесоюз. науч.-исслед. ин-т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. Канализация / Б.М. Худенко, Е.А. Шпирт. – М.: Стройиздат, 1973. – 112 с.

3. Очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-4.01-202-2010 (02250).

УДК 628.162, УДК 628.316

*Пилютик Н.А.*

*Научный руководитель: ассистент Новосельцева А.Г.*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УДАЛЕНИЯ ФОСФАТОВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ РЕАГЕНТА ОСАДКОВ СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ**

Целью настоящей работы является разработка методики получения реагента из осадков станций обезжелезивания и исследование возможности удаления фосфатов из сточных вод с помощью полученного реагента.

#### **Введение**

В настоящее время одной из важнейших проблем в природоохранной деятельности является эвтрофикация водоемов. Её возникновение связано с поступлением в водоем биогенных элементов (в основном азота и фосфора) вместе со сточными водами. Для удаления из сточных вод соединений фосфора применяется ряд методов: химический, биологический, физико-химический и

комбинированный. В качестве реагентов для физико-химического способа удаления соединений фосфора могут быть использованы известь, соли железа и алюминия, а также другие минеральные коагулянты, если учесть что очистка сточной воды с применением реагентов осуществляется непрерывно, то это приводит к большим затратам, связанным с необходимостью их покупки.

В то же время в результате эксплуатации станций обезжелезивания в Беларуси ежегодно выбрасывается в окружающую среду около 4000 тонн загрязнений в виде соединений железа. Источником образования осадка на станциях обезжелезивания является промывные воды фильтров. Доля воды, расходуемой для промывки, достаточно велика и, в зависимости от качества исходной воды и типа фильтра, может достигать от 2 % до 10 % от общего расхода очищаемой воды. Промывные воды, образующиеся в процессе регенерации загрузки фильтра, характеризуются высоким содержанием железа, концентрация которого колеблется от 100 мг/л до 300 мг/л. Основным компонентом осадка, образующегося при осветлении промывных вод, является трехвалентное железо в форме хлопьевидного гидроксида железа.

Гранулометрический состав осадков железосодержащих вод характеризуется большим содержанием мелких фракций с размером основной массы частиц 0,002 мм. Осадок имеет однородную структуру, образуемую мелкими аморфными хлопьями гидроксида. При длительном хранении осадка гидроксид железа подвергается старению и переходит из аморфного состояния в кристаллическое. Хлопья осадка при этом укрупняются, что приводит к увеличению пористости осадка и улучшению его водоотдающей способности [1].

Высококонцентрированные железосодержащие промывные воды сбрасываются в канализацию либо в прилегающие водоемы или на рельеф местности, что приводит к нерациональному использованию высококачественной подземной воды и загрязнению окружающей среды соединениями железа [2]. Так же одной из проблем связанных с образованием железосодержащих осадков является его утилизация (сброс в окружающую среду, реки, каналы, складки рельефа и др.), что приводит к накоплению неорганического шлама. Ликвидация осадков станций обезжелезивания связана с определенными трудностями технического и организационного характера. В практике очистки природных вод известны различные способы утилизации осадков, дающие определенный экономический эффект, например, использование осадка для создания жаростойкого покрытия при изготовлении поддонов и изложниц или в качестве добавок при выпуске портландцемента. Возможно также использование таких осадков при производстве строительных материалов, например, керамзита [3, 4].

Поэтому актуальными задачами являются: предотвращение загрязнения окружающей среды промывными водами с высоким содержанием железа; получение из осадков станций обезжелезивания, являющихся отходами, товарного продукта – реагента, для физико-химической очистки сточных вод от фосфатов; проверка эффективности работы полученного реагента.

#### Методика исследований

При физико-химическом методе очистки сточных вод для удаления фосфора используются следующие реагенты:  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeSO_4$ ,  $Fe(SO_4)_3$ ,  $FeCl_2$ ,  $FeCl_3$ . В основе этого метода лежит химическое связывание фосфора с ионами металлов. Учитывая химический состав осадков, образующихся при обработке про-

мывных вод станций обезжелезивания подземных вод, исследовалась возможность использования их в качестве реагента для физико-химического удаления фосфора из сточных вод.

Реагенты применяемые для удаления фосфора представляют собой соли железа или алюминия с содержанием железа от 19,4% ( $Fe(SO_4)_3$ ) до 80% ( $FeCl_3$ ). Промывные воды содержат 100-300 мг/л железа. Для получения более концентрированного продукта по содержанию железа промывные воды обрабатывались реагентом фосфатом натрия  $Na_3PO_4$  дозой 40 мг/л и коагулянтом сульфатом алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  дозой 60 мг/л [2]. В результате взаимодействия фосфата натрия с солями железа образуются коллоидные частицы фосфата железа (III), обладающих очень низкой растворимостью:  $Na_3PO_4 + Fe^{3+} \rightarrow FePO_4 \downarrow + 3Na^+$ . Коагулянт интенсифицирует укрупнение частиц, что приводит к интенсивному осаждению соединений железа.

Затем осадок отстаивали, декантировали и поместили в специальную емкость, во избежание изменения его влажности. В результате был получен аморфный осадок, коричневого цвета.

Так же были определены свойства осадка: влажность и содержание железа. Влажность осадка составила 95,8 %. Содержание железа находилось колориметрическим методом с роданидом калия с использованием построеного калибровочного графика по методике, приведенной в [5]. Этот метод основан на способности катионов железа взаимодействовать в сильно кислой среде с анионами роданида. В результате было установлено, что содержание железа в осадке составило 2500 мг/л. Таким образом, был получен высококонцентрированный железосодержащий реагент.

Для экспериментальной проверки полученного реагента был выполнен ряд экспериментов по удалению фосфора физико-химическим методом из сточных вод. Концентрация фосфатов в сточной воде составляла 10 мг/л. Исследование было направлено на определение необходимой дозы полученного реагента для снижения концентрации фосфатов в сточной воде.

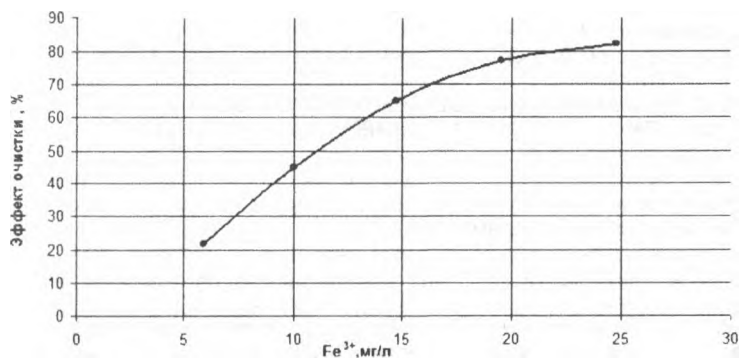
После добавления реагента вода отстаивалась 1 час и фильтровалась через плотный фильтр (синяя лента), затем определялась остаточная концентрация фосфатов в воде по калибровочному графику стандартной колориметрической методике определения растворенных в воде фосфатов с добавлением смеси молибдата аммония [6]. Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты экспериментов

№ п/п	Содержание фосфатов в сточной воде, мг/л	Доза железа, мг/л	Расход реагента на удаление 1 мг фосфатов	Содержание фосфатов в очищенной воде, мг/л	Эффект очистки воды от фосфатов, %
1	10	5,9	0,59	7,8	22
2	10	10	1	5,5	45
3	10	14,7	1,47	3,5	65
4	10	19,5	1,95	2,3	77
5	10	24,8	2,48	1,8	82

Результаты данной серии экспериментов приведены на рисунке 1.





**Рисунок 1 – Зависимость эффекта очистки городских сточных вод от удельной дозы железа, вводимого в виде реагента**

Из графика видно, что эффект очистки с увеличением дозы реагента постепенно увеличивается, но с каждой последующей дозой увеличение эффекта очистки замедляется. Оптимальной дозой является доза 24,8 мг/л, дальнейшее увеличение дозы нецелесообразно, так как приводит к незначительному повышению эффекта очистки. Эффект очистки при добавлении 24,8 мг/л реагента в сточную воду составил 82 %.

#### **Заключение**

Выполнены исследования по обработке промывных вод станций обезжелезивания воды с целью получения осадка с высоким содержанием железа, получен реагент с содержанием железа 2500 мг/л в виде  $Fe(OH)_3$ . Экспериментально доказана эффективность работы полученного реагента из железосодержащих осадков станций обезжелезивания в качестве коагулянта для физико-химической очистки сточных вод от соединений фосфора. Эффективность удаления фосфатов из сточных вод при разных дозах полученного реагента составила от 22 % до 82 %. Концентрация фосфатов в сточной воде была снижена с 10 мг/л до 1,8 мг/л. Экономическая значимость разработанной технологии заключается в уменьшении объемов загрязнений и концентрации вредных веществ в водной среде и почве.

#### **Список цитированных источников**

1. Любарский, В.М. Осадки природных вод и методы их обработки / В.М. Любарский – Москва: Стройиздат, 1980. – 129 с.
2. Науменко, Л.Е. Технология очистки промывных вод станций обезжелезивания коагулированием в присутствии фосфатов: диссертация кандидата технических наук: 05.23.04 / Науменко Л.Е. – Брест, 2009. – 190 с.
3. Шевченко, Л.Я. Утилизация осадков водопроводных станций / Л.Я. Шевченко // Водоснабжение и санитарная техника. – №4. – 1985. – с. 21.
4. Белескова, Е.А. Об утилизации осадков, образующихся при обезжелезивании подземных вод / Е.А. Белескова, В.И. Айзенберг // Водные ресурсы. – 1979. – №5. – с. 190.
5. Строкач, П.П. Практикум по технологии очистки природных вод / П.П. Строкач, Л.А. Кульский. – Минск: Вышэйшая школа, 1980. – 320 с.
6. Лурье, Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод / Ю.Ю. Лурье – Москва: Химия, 1973. – 376 с.

УДК 378.14(07)

Протасевич А.Е., Санюкович Ю.А.

Научный руководитель: ст. преподаватель каф. НГ и ИГ Яромич Н.Н.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО СООРУЖЕНИЯ И ПОДСЧЕТ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цель работы – сравнить наглядность построений границ земляных работ методом проекций с числовыми отметками вручную и с использованием графического редактора программы AutoCad.

Жизнь современного человека уже нельзя и представить без компьютерной техники. На сегодняшний день компьютеры стали такой важной и неотъемлемой частью нашей жизни, что кажется невозможным, что когда-то их могло вообще не существовать. Компьютеры упростили человеку жизнь во всем. Из дома можно теперь учиться дистанционно, если у кого-то не получается ходить на учебу, электронная библиотека всегда под рукой, для работы можно делать различные презентации, что позволяет зрительно запомнить информацию, которую на слух воспринимать не удобно. Компьютерные технологии сделали стремительный шаг вперед и не собираются на этом останавливаться, они окружают нас в повседневной жизни: дома, на работе, на учебе и т.д.

Применение 3D моделирования позволяет более наглядно и детально увидеть объекты, изучаемые на занятиях по начертательной геометрии. Рассмотрим на примере построения откосов земляного сооружения в проекциях с числовыми отметками, используя 3D моделирование в системе AutoCAD.

**Построение массива земли по заданным топографическим горизонталям.** В задании показан план земляного сооружения (например, горизонтальная дорога с площадкой) с проектной отметкой 28м и план участка территории, заданный топографическими горизонталями с числовыми отметками (рис. 1). Необходимо построить границу земляных работ.

Определяем точки нулевых работ М и N – они расположены в местах пересечения 28-ой горизонтали поверхности земли с кромкой площадки с проектной отметкой 28м. В нашем примере замечаем, что кромка дороги и левая часть площадки проходит выше поверхности земли. Следовательно, мы имеем дело с насыпью. Правая часть площадки и дорога проходит ниже поверхности земли, следовательно, правая часть сооружения – выемка [1].

В точках М и N проводим линии наибольшего ската, т.е. объединяющий масштаб

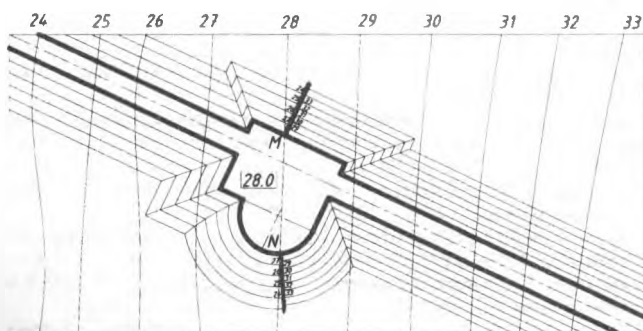


Рисунок 1

уклона от коса насыпи с масштабом откоса выемки и производим градуирование, откладывая заданные значения интервалов: для насыпи – слева линии наибольшего ската ( $i_n=1,5m$ ), для выемки – справа ( $i_v=1m$ ).

Прежде чем приступить к проектированию сооружения необходимо поднять поверхность участка земли. Для этого с помощью команды «Сплайн» вычертить план горизонталей земли, а затем, используя команду «3D перенос», поднять каждую горизонталь на заданную высотную отметку относительно горизонтальной плоскости проекций, называемой плоскостью нулевого уровня или основной плоскостью [2].

С помощью команды «По сечениям», начиная слева (или справа), строим плоскую поверхность, последовательно принимая за сечения топографические горизонталей. Далее с помощью команды «Ящик» создаем параллелепипед, который ограничит массив земли. Полученный параллелепипед разрезаем на две части относительно созданной плоской топографической поверхности. Удалив верхнюю часть параллелепипеда, получим поверхность, на которой и будем проектировать горизонтальную дорогу с площадкой (рис. 2).

Рисунок 2

Построение 3D модели земляного сооружения. Для построения 3D модели откосов насыпи и выемки необходимо на отдельном чертеже разделить план сооружения на две части (отдельно насыпь и выемка относительно 28-ой горизонтали) и создать два замкнутых контура. Далее, используя команду «Подобие», создаем 5-6 горизонталей насыпи (слева) и выемки (справа) с интервалом 1,5м и 1м соответственно.

Используя команду «3D перенос», поднимаем каждую горизонталь на заданную высотную отметку и с помощью команды «По сечениям», последовательно начиная от наружной (или внутренней) горизонтали, строим поверхность откосов насыпи (рис. 3). Аналогично выполняется создание поверхности откосов выемки. Создаем 3D

Рисунок 3

модель дороги с площадкой, выполненную из проектных горизонталей, совмещая по линии нулевых работ MN модель насыпи и модель выемки. Переносим модель дороги с проектными горизонталями на основание модели земли и поднимаем на заданную отметку 28м. При этом часть модели дороги находящуюся вне пределов контура земли отсекаем с помощью плоской поверхности и команды «Сечение». Далее вычитаем из поверхности земли часть дороги, находящуюся в выемке, и отсекаем часть модели насыпи, находящейся в земле, для того чтобы потом можно было посчитать объемы грунта для насыпи и выемки.

Переносим модель дороги на основание модели земли и поднимаем на заданную отметку 28м (рис. 3). При этом с помощью команды «Редактирование тела» вычитаем из поверхности земли часть дороги, находящейся в выемке, и отсекаем часть поверхности насыпи, находящейся внутри поверхности земли [3].

**Построение границы земляных работ.** В принципе, граница земляных работ уже построена на 3D модели. Для построения плана участка достаточно на видовом кубе выбрать проекцию «Вверх» и задать в визуальных стилях «2D каркас». Получим изображение, выполненное тонкими линиями. Чтобы выполнить редактирование толщины линий необходимо расчленить модель на отдельные элементы.

Бергштрихи на откосах выемки и насыпи достраиваются самостоятельно (рис. 4).

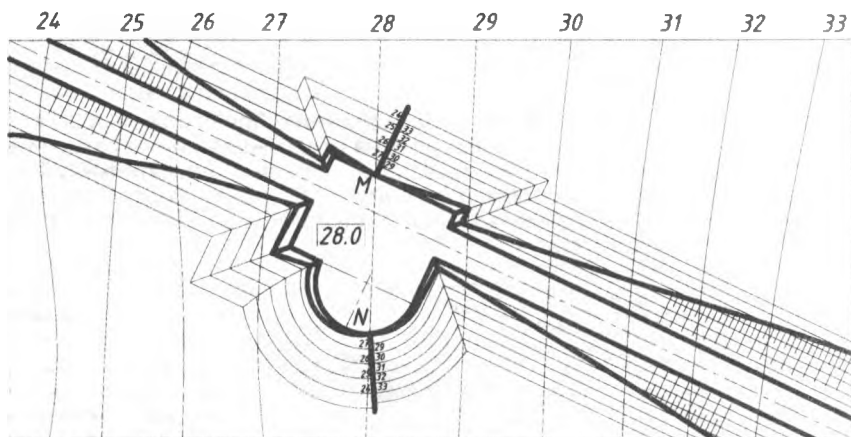


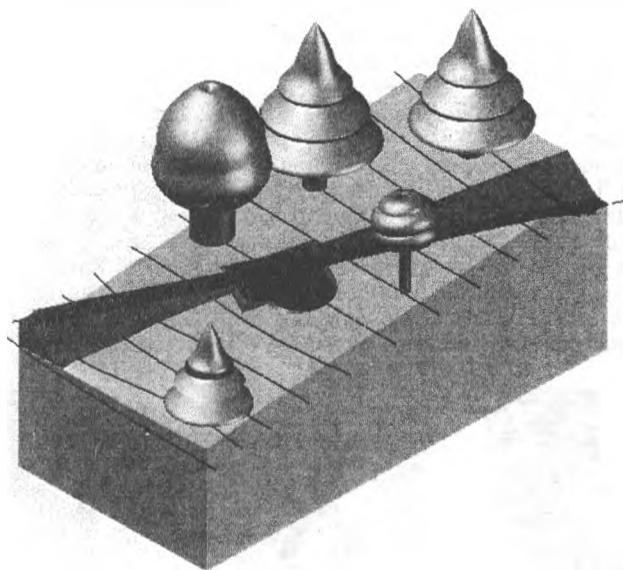
Рисунок 4

**Подсчет объемов земли.** Используя команду «Масс-Хар» можно определить массу и объем земли выемки и насыпи земляного сооружения. Для этого необходимо вызвать эту команду, указать нужную поверхность с помощью курсора и на экране появится текстовое окно, в котором будут даны масса и объем в миллиметрах. Преобразовать, например, объем из кубических миллиметров в кубические метры можно с помощью быстрого калькулятора

Для этого надо ввести объем с текстового окна команды «Масс-Хар» в верхней строке калькулятора. Ниже указать тип единиц «Объем», в строке

«преобразовать из» указать миллиметры, в строке «преобразовать в» указать метры. В нижней строке калькулятора будет прописан преобразованный объем в метрах кубических [3].

**Визуализация земляного сооружения.** На вкладке «Визуализация» можно задать материалы для более наглядного изображения модели (рис. 5).



**Рисунок 5**

Стремительное развитие современных информационных технологий, использующих мультимедийные средства, предоставляет новые возможности в развитии пространственного представления и воображения, дает возможность одновременно зрительного и слухового восприятия материала, значительно увеличивает скорость и качество его усвоения, существенно усиливает практическую направленность в целом и повышает качество образования. Эффективность изучения курса в значительной степени повысилась за счет использования новых информационных технологий, наибольшую же эффективность приносит использование трехмерной компьютерной графики и анимации [3]. Благодаря этому изучение курса становится более привлекательным, позволяет студентам представить и понять сложный теоретический материал.

**Список цитированных источников**

1. Бриллинг, Н.С. Строительное и топографическое черчение / Н.С. Бриллинг - М.: Просвещение, 1980. – 192с.
2. Тику Ш. Эффективная работа: AutoCAD 2004. – СПб.: Питер, 2004. – 1040 с.: ил.
3. Столер В.А., Касинский Б.А. Преподавание начертательной геометрии с использованием компьютерно-мультимедийных систем. Режим доступа: <http://dgng.pstu.ru/conf2011/papers/7/>

УДК 378.14(07)

*Цеван А.В., Артющик Д.С.*

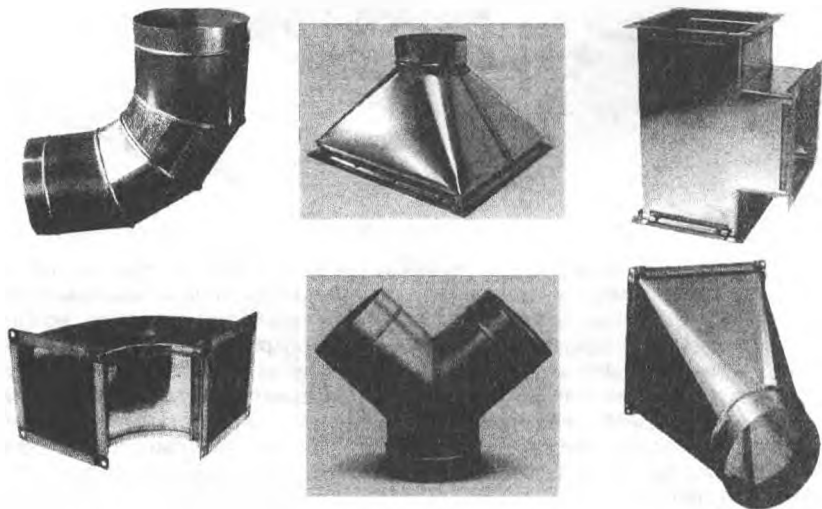
*Научный руководитель: ст. преподаватель кафедры НГ и ИГ  
Шевчук Т.В.*

## РАЗВЁРТКИ ВОЗДУХОВОДОВ. ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

Цель данной работы – изучение возможностей построения развёрток поверхностей при проектировании воздуховодов.

Воздуховоды – часть вентиляционной системы. Совокупность воздуховодов – сложная сеть, которая состоит из прямых участков и фасонных частей. Фасонные части, к которым относятся тройники, крестовины, отводы и т.д., предназначены для слияния, разделения и изменения направления воздушного потока. Такие детали вырезаются из тонколистового материала.

Специфика проектирования воздуховодов состоит в том, что детали необходимо представить в виде разверток, в геометрию детали включаются специфические соединительные элементы и линии сгиба. Каждая конструкция вентиляционной системы включает в себя сложный набор деталей и разнообразное сочетание диаметров труб, углов сочленения и других параметров. Самую сложную геометрию имеют фасонные части (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Фасонные части вентиляционной системы**

Проанализируем существующие на данный момент различные способы построения разверток поверхностей воздуховодов. В настоящее время существует ряд специализированных пакетов трёхмерного моделирования. Например, достаточно известна программа **Pepakura Designer**, создающая развертку трёхмерного изображения для последующей печати на принтере. Редактор выдаст изображение с уже размеченными областями для вырезания и соединения. Однако данная программа не предусматривает разверток сложных элементов, встречающихся в конструкциях воздуховодов.

Графическая система **Plate'n'Sheet** разработана для быстрой развёртки наиболее распространённых деталей из листового материала: цилиндров, конусов, призм, пирамид (в том числе и усеченных), различных соединений. В данном пакете содержатся более 50 наименований деталей. Пакет точный и простой в использовании, сохраняет формат DXF для импорта в большинство программ CAD. Однако Plate'n'Sheet не дает возможности для получения развертки уникальных частей воздуховодов.

Компания OPEN MIND Technologies AG разработала **HyperCAD** – CAD-решение, предназначенное для программистов. Приложение HyperCAD поддерживает следующие интерфейсы: STEP, DXF/ DWG, CATIA V4 и V5, Parasolid, Siemens NX, PTC Creo и SOLIDWORKS. Кроме того, оно позволяет импортировать облака точек. HyperCAD содержит, кроме того, параметрическое моделирование, с помощью которого возможно создание зависимостей элементов или сохранение профилей, а также их повторное использование.

На заключительном этапе технолог работает с отдельными деталями геометрии. То есть для успешной работы необходимо иметь квалификацию программиста.

**Программа Техтран** решает задачу раскроя листового материала, проектирования обработки элементов воздуховодов с помощью специализированной библиотеки (рисунок 2). Элементы библиотеки - параметрические модели фасонных частей воздуховодов. Библиотека позволяет строить контуры деталей с требуемыми характеристиками. Полученные детали включаются в базу данных, и из них составляются задания на раскрой. На данном этапе может потребоваться разбиение детали на несколько фрагментов.



Рисунок 2 – Библиотека стандартных элементов в редакторе Техтран

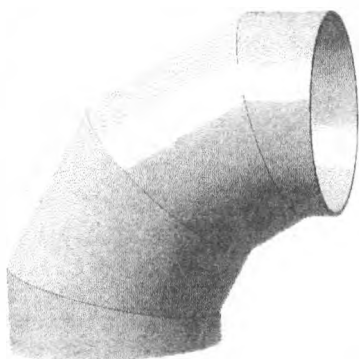
Этапы размещения и обработки – наиболее трудоемкие и выполняются в ручном режиме. Таким образом, выполнение чертежей сложных переходов в воздуховодах – достаточно затратная по времени операция.

В ряде случаев уместно использовать достаточно простые в изучении графические пакеты, такие как КОМПАС-график. Данный графический редактор обладает простым в понимании интерфейсом и большими возможностями

для трёхмерного моделирования с последующим выполнением 2D-чертежей в автоматическом режиме.

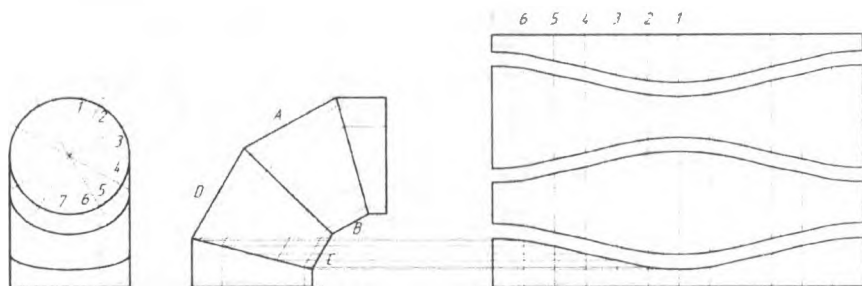
В данной работе мы проанализировали поэтапное построение разверток воздуховодов средствами трехмерного моделирования в КОМПАС-график.

Рассмотрим построение воздуховода в виде колена. Строим трёхмерную модель (рисунок 3) методом операции по сечениям и автоматически получаем два вида детали.



**Рисунок 3 – Трёхмерная модель воздуховода в виде «колена»**

Разбиваем образующую окружность на равные части. На фронтальной проекции имеем натуральные величины длин «колена» [3]. Откладываем 12 равных частей по горизонтали. В вертикальном направлении откладываем длины составляющих «колена». Соединяем полученные точки плавными кривыми (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Построение развёртки воздуховода в виде «колена»**

Достаточно сложен в исполнении воздуховод с переходом с квадрата на наклонный эллипс. Создаём трёхмерную модель, сочетая операции выдавливания и операции по сечениям [4] (рисунок 4). Строим фронтальную и горизонтальную проекции [5].

В результате можно сделать вывод о том, что с помощью графической системы КОМПАС-график возможно эффективно и быстро строить развёртки



сложных элементов воздухопроводов, используя изученные методы начертательной геометрии.

Важным моментом является также широкое внедрение КОМПАС-график в учебный процесс, что позволяет минимизировать временные затраты на адаптацию будущих специалистов в условиях реального производства.

#### Список цитированных источников

1. Гордон В.О. Курс начертательной геометрии. – М.: Высшая школа, 2000. – 272 с.
2. Кочетов В.И., Лазарев С.И., Вязовов С.А., Ковалев С.В. Инженерная и компьютерная графика. Часть 1: Учебное пособие. - Тамбов: Издательство ТГТУ, 2010. - 80 с.
3. Ефремов Г.В., Ньюкалова С.И. Инженерная и компьютерная графика на базе графических систем. - М.: ТНТ, 2014. – 256 с.
4. Герасимов А.А. Самоучитель Компас 3D - СПб.: Питер, 2014. – 304 с.

УДК 553. 97

**Чайкова Н.А.**

*Научный руководитель: доцент, кандидат технических наук*

*Глушко К.А.*

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНОГО РАСХОДА СБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Целью настоящей работы является учёт разнородности климатических, водно-физических и тепловых свойств почв водосбора мелиоративных систем. Изучается водопоглощительная способность почв и её зависимость от климатических условий, тепловых и водно-физических свойств.

Определение расчётного расхода сбросных сооружений мелиоративных систем по существующей методике основано на использовании модуля стока. Расчёт ведётся на период дождевых паводков и весеннего половодья 10%-ой обеспеченности.

Расчётный расход ложбин ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с) и скорость воды в ложбине определяются по формулам:

$$Q = Sv \quad (1)$$

$$v = C\sqrt{Ri} \quad (2)$$

$S$  – площадь живого сечения потока, м<sup>2</sup>;

$C$  – коэффициент Шези, м<sup>0,5</sup>/с;

$R$  – Гидравлический радиус живого сечения потока, м;

$i$  – уклон дна ложбины, доли единиц.

Расчётный расход весеннего половодья определяют исходя из объёма стока заданной (10%) обеспеченности:

$$Q = \frac{W_{10}}{t} \quad (3)$$

$$W_{10} = 1000h_{p,10}F \quad (4)$$

$h_{p,10}$  – слой стока весеннего половодья с 10% обеспеченностью;

$F$  – площадь водосбора;

$t$  – расчётный период при проектировании ложбин, равный 4,9

Слой стока заданной обеспеченностью ( $h_{p,t}$ , мм) определяется по формуле 5:

$$h_{p,t} = (Ch_k - b)K \quad (5)$$

$h_k$  – слой стока весеннего половодья обеспеченностью  $p=1\%$ , мм.  
 $K$  – коэффициент, учитывающий влияние видов распахки при площадях водосбора  $F < 0,05 \text{ км}^2$   
 $C$  и  $b$  – коэффициенты перехода от слоя стока  $p=1\%$ , к слою другой обеспеченности.

Объем стока весеннего половодья  $W_{p\%}$ ,  $\text{м}^3$ , определяется по формуле 6:

$$W_{p\%} = 1000 h_{p\%} F \quad (6)$$

$h_{p\%}$  – слой стока весеннего половодья обеспеченностью ( $p$ ) процентов  
 $F$  – площадь водосбора

Расчетный расход сбросного сооружения можно определить по формуле,

$$Q_p = \frac{h_s - 1 \tau_{\text{ин}} - F \cdot 1000}{\tau_{\text{ин}} \cdot 3600} \quad \text{л/с} \quad (7)$$

$h_s$  – высота снега, насыщенного водой, мм;  
 $i$  – интенсивности инфильтрации, мм/час;  
 $\tau_{\text{ин}}$  – продолжительность инфильтрации, час;  
 $F$  – площадь водосбора,  $\text{м}^2$   
 $\tau_p$  – продолжительность паводка.

Для определения интенсивности инфильтрации на торфяниках низинного типа может быть использована следующая эмпирическая зависимость, полученная на основе обработки полевых исследований в бассейне р.Бобрин:

$$i = 0,000148 \left[ \frac{h_{\text{гв}}}{h_p} \right]^{0,7} + 1,056 \sqrt{\frac{t-1}{t}} \quad (8)$$

$\rho_{\text{т}}$  – объемная плотность талой почвы,  $\text{г/см}^3$ ;  
 $h_{\text{гв}}$  – уровень грунтовых вод на начало паводка, см;  
 $W$  – объемная влажность в относительных единицах;  
 $t$  – температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $h_p$  – глубина промерзания почвы, см.

Сущность метода заключается в пошаговом вычислении величины проинфильтровавшей талой воды сквозь мерзлую почву и выделении, таким образом, поверхностного стока, который и должен быть отведенным гидротехническим сооружением за время его формирования.

В качестве примера выбран характерный 1986 год.

Ход температуры воздуха по данным метеостанции Полесской опытно-мелиоративной станции до даты схода снега представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Ход температуры воздуха за период снеготаяния

Время, час.	0	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	Ср.
Дата	2	3	4	5	6	7	8	9	10
06.03.1986	1,8	1,9	1,3	1,3	2,6	3,0	2,1	2,2	2,0
07.03.1986	0,4	-1,0	-1,0	-1,0	-0,1	3,0	2,9	0,8	0,5
08.03.1986	-2,0	-3,3	-3,6	-3,5	-2,0	-0,2	-0,1	-0,1	-1,9
09.03.1986	-0,2	0,3	0,0	0,1	0,4	1,7	2,0	-0,4	0,5
10.03.1986	1,0	0,4	0,5	0,1	0,2	0,4	0,3	0,1	0,4
11.03.1986	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	0,2	0,8	0,6	0,3	0,0
12.03.1986	-0,2	-0,5	-1,0	-1,0	-0,2	2,2	3,0	0,0	0,3
13.03.1986	-0,6	-1,4	-1,5	-2,2	-1,8	-0,9	-0,7	-1,4	-1,3
14.03.1986	-2,6	-2,4	-2,8	-2,7	-2,3	-1,7	-0,3	-3,8	-2,3
15.03.1986	-1,4	-5,2	-6,2	-3,8	-2,7	-1,0	-0,7	-3,7	-3,5
16.03.1986	-3,1	-4,7	-6,8	-4,3	0,3	2,3	3,4	-0,4	-1,7

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17.03.1986	-2,0	-3,8	-5,5	-4,1	-2,1	5,0	5,1	-0,6	-0,5
18.03.1986	-1,6	-3,2	-4,0	-3,0	2,8	6,1	6,5	0,5	0,5
19.03.1986	-1,0	-2,2	-3,6	-2,0	3,6	5,8	6,0	1,2	1,0
20.03.1986	-2,1	-2,6	-4,5	-3,0	3,3	7,1	7,4	0,8	0,8
21.03.1986	-0,6	-2,2	-3,6	-2,1	1,0	2,7	2,2	-0,7	-0,4
22.03.1986	-2,4	-2,8	-3,0	-0,9	2,9	4,5	4,4	0,6	0,4

Таяние снега происходило в дневное и вечернее время, кроме дней с отрицательной температурой. Средняя глубина залегания УГВ на дату схода снега составляла 136 см.

Водно-физические характеристики почв балансового участка по шести точкам отбора, необходимые для расчета, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Водно-физические характеристики почв балансового участка и снежного покрова

Место отбора проб почвы	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	Ср.
$\rho_w, \text{г/см}^3$	0,24	0,227	0,217	0,22	0,225	0,23	0,226
W, в отн.ед.	0,61	0,67	0,66	0,655	0,61	0,63	0,639
$h_{\text{в.с.}}, \text{см}$	28,3	30,4	33,2	32,9	29,8	31,8	31,06
$h_{\text{н.с.}}, \text{см}$	17,0	22,0	17,0	28,0	20,0	18,0	20,3
$\rho_{\text{н.с.}}, \text{г/см}^3$	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31

Расчет интенсивности инфильтрации талой воды будем вести по средним значениям водно-физических характеристик почв водосбора для периодов с температурой воздуха больше  $-0^\circ\text{C}$ .

Для первого дня снеготаяния инфильтрация составит:

$$i = 0,000148 \left[ \frac{136}{214} \right]^{0,667} - 1,056 \frac{14 - 1,056}{1,777} = 3,62 \text{ мм/час.}$$

Аналогичным образом рассчитаны значения интенсивности инфильтрации по остальным периодам снеготаяния. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Ход интенсивности инфильтрации за период снеготаяния

Дата	Продолжительность таяния снега час	Количество проинфильтровавшейся воды, мм	Количество проинфильтровавшейся воды нарастающим итогом, мм
06.03.1986	24	3,49	3,49
07.03.1986	12	1,75	5,24
08.03.1986	0	0	5,24
09.03.1986	18	2,62	7,86
10.03.1986	18	3,49	11,35
11.03.1986	12	1,75	13,1
12.03.1986	0	1,31	14,41
13.03.1986	0	0	14,41
14.03.1986	0	0	14,41
15.03.1986	0	0	14,41
16.03.1986	9	1,74	16,15
17.03.1986	6	0,87	17,02
18.03.1986	12	1,74	18,76
19.03.1986	12	1,74	20,05
20.03.1986	12	1,74	22,24
21.03.1986	9	1,31	23,55
22.03.1986	12	2,62	26,17

Общая величина инфильтрации талых вод до даты схода снега составляет, как следует из таблицы 3: 26,17 мм.

Запас воды в снеге рассчитаем по формуле:

$$h_{\text{сн нас}} = \frac{\gamma_{\text{сн}} \cdot h_{\text{сн}}}{\gamma_{\text{сн}} + \frac{\rho_{\text{л}} - \gamma_{\text{сн}}}{\rho_{\text{л}}}} \quad (3)$$

$\gamma_{\text{сн}}$  – плотность снега, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{л}}$  – плотность льда, г/см<sup>3</sup>.

$$h_{\text{сн нас}} = \frac{0,3 \cdot 20,3}{0,3 - \frac{0,9 - 0,3}{0,9}} = 6,304 \text{ см} = 63,04 \text{ мм}$$

Отсюда следует, что имеет место поверхностный сток. Его величина, пренебрегая испарением со снега, составит: 63,04-26,17=36,87 мм.

Определим продолжительность поверхностного стока  $\tau_{\text{ст}}$ .

Слой талой воды, формирующийся от таяния снега можно найти по формуле:

$$h_{\text{о}} = h_{\text{т}} \cdot \tau_{\text{таян}} \cdot t \quad (10)$$

где  $h_{\text{т}}$  – температурный коэффициент таяния снега, мм/сут на 1 °с ;

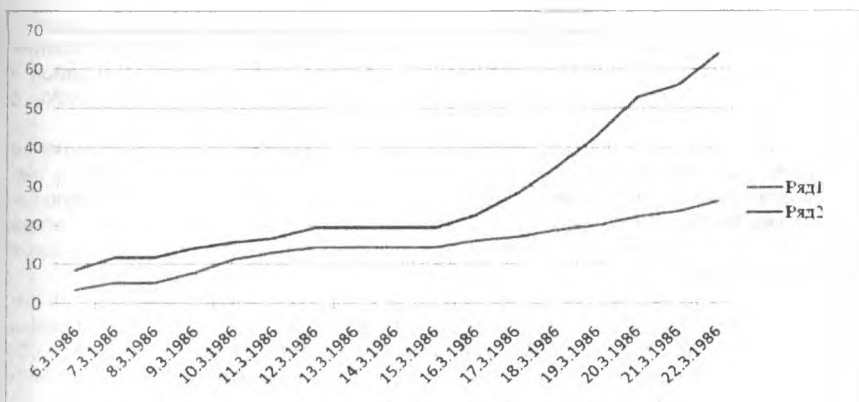
$\tau_{\text{таян}}$  – продолжительность таяния снега, в долях суток.

Расчет посуточного слоя талой воды сведен в таблицу 4.

Таблица 4. Расчет посуточного слоя талой воды

Дата	Температурный коэффициент таяния, мм/сут	Слой талой воды мм	Слой талой воды нарастающим итогом мм
06.03.1986	4,2	8,51	8,51
07.03.1986	4,2	3,30	11,81
08.03.1986	4,2	0	11,81
09.03.1986	4,2	2,36	14,17
10.03.1986	4,2	1,57	15,74
11.03.1986	4,2	0,99	16,73
12.03.1986	4,2	2,74	19,47
13.03.1986	4,2	0	19,47
14.03.1986	4,2	0	19,47
15.03.1986	4,2	0	19,47
16.03.1986	4,2	3,15	22,62
17.03.1986	4,2	5,30	27,92
18.03.1986	4,2	6,87	34,79
19.03.1986	4,2	8,19	42,98
20.03.1986	4,2	9,76	52,74
21.03.1986	4,2	3,09	55,83
22.03.1986	4,2	8,08	63,91

На рисунке 2 показаны характеристики слоя талого стока и проинфильтровавшейся влаги во времени. Ряд 1 – слой талого стока нарастающим итогом; Ряд 2 – слой проинфильтровавшейся талой воды нарастающим итогом.



**Рисунок 2 – характеристики слоя талого стока и проинфильтровавшейся влаги во времени**

Из таблицы 4 следует, что с 16.03.1986 г. формируется поверхностный сток, который продолжается до даты схода снега, 22.03.1986г. Тогда продолжительность поверхностного стока составит 6 дней.

С учетом полученных данных расчетный расход сбросного сооружения для локального водосбора площадью 932 м<sup>2</sup> составит:

$$Q_* = \frac{49,04 - 16,57}{6 \cdot 86400} = 0,066 \text{ л/с.}$$

УДК 55.5(476)

**Шпока Д.А.**

**Научный руководитель: д.г.н., проф. Волчек А.А.**

## ГОЛЕДНО-ИЗМОРОЗОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ И ПООЗЕРЬЯ

### *Введение*

Республика Беларусь расположена на западе Восточно-Европейской равнины. Около 72% территории Беларуси относится к подзоне смешанных лесов, южная – к подзоне широколиственных лесов. В подзоне смешанных лесов выделяют 4 провинции: Белорусская Поозерская, Западно-Белорусская, Предполесская, в подзоне широколиственных лесов – Полесская провинция.

Белорусское Поозерье занимает около 18% территории Беларуси. Поозерье расположено в северной части Беларуси, в пределах Витебской области, севера Минской и северо-востока Гродненской областей и характеризуется разнообразием природных комплексов. Белорусское Поозерье занимает Полоцкую низменность. Климат умеренно теплый, влажный, более прохладный по сравнению с другими регионами. Протяженность безморозного периода – 140-150 дней.

Белорусское Полесье – физико-географическая область, занимающая Полесскую низменность. Белорусское Полесье занимает около 30% территории Беларуси, в пределах Брестской области, центральной и южной части Гомельской области. В климатическом отношении Полесье отличается от других

областей республики. Здесь климат более тёплый, чем в северных областях. Протяженность безморозного периода – 155-165 дней. По характеру зимних условий территорию Полесья подразделяют на два района: западный район – район с неустойчивой зимой (зима более теплая) и восточный район – район с более устойчивой зимой.

На интенсивность гололедно-изморозевых отложений влияют направление ветра, рельеф, продолжительность выпадения переохлажденного дождя, а также прохождение адвективного тумана. При усилении ветра возрастает число капель, а увеличение интенсивности отложения наблюдается при усилении ветра до 12-15 м/с. При увеличении времени выпадения переохлажденных осадков или прохождения тумана до 12-18 ч. создается угроза сильного гололеда.

Образование гололедно-изморозевых отложений на проводах и тросах линий электропередач может явиться причиной аварий, связанных с короткими замыканиями, обрывами проводов и тросов, поломке опор. В результате образования гололедно-изморозевых отложений нарушается движение автомобилей, пешеходов и авиотранспорта.

Таким образом, возникает необходимость в изучении гололедно-изморозевых явлений на территории Белорусского Полесья и Поозерья.

#### *Исходные данные и методы исследования*

Основой для анализа гололедно-изморозевых явлений послужила данная информация метеорологических ежемесячников ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» за период 1975-2012 гг. по метеорологическим станциям Белорусского Полесья и Поозерья, справочнике по стихийным гидрометеорологическим явлениям [1, 2].

Временные ряды количества дней в году с гололедно-изморозевыми явлениями исследовались с помощью стандартных статистических методов. Пространственная изменчивость числа дней с явлениями оценивалась путем их картографирования.

#### *Обсуждение результатов*

*Гололед* – слой плотного льда, образующийся на земной поверхности и на предметах при замерзании переохлажденных капель дождя и тумана.

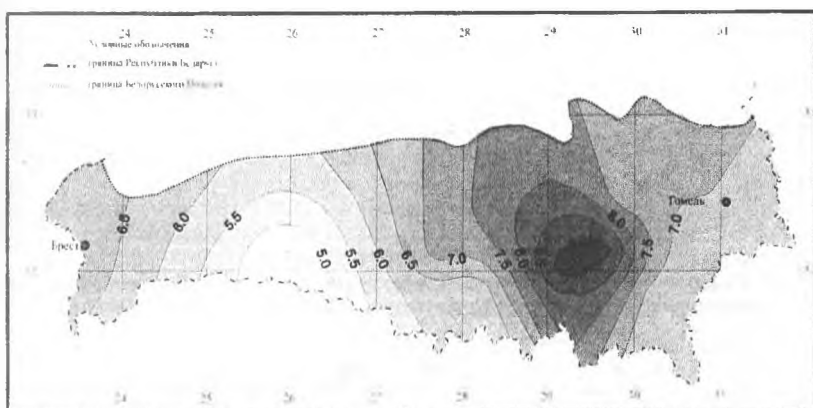
*Изморозь* – отложения льда на ветвях деревьев, проводах и т.п. при тумане в результате сублимации водяного пара – кристаллическая изморозь, а также замерзания капель переохлажденного тумана – зернистая изморозь

*Гололедно-изморозевые явления* считаются опасным явлением тогда, когда диаметр гололеда на проводе гололедного станка 20 мм и более, смешанного отложения (т.е. отложения гололеда и изморози или мокрого станка) составляет 35 мм и более.

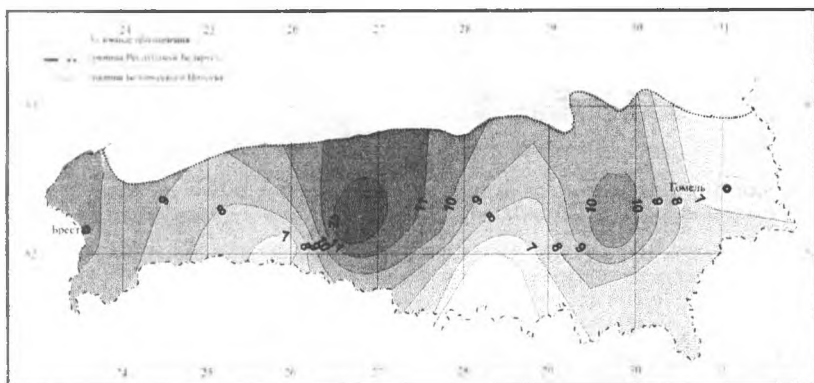
Пространственные особенности распространения числа дней с гололедно-изморозевыми явлениями представлены на рисунках 1-4.

На территории Полесья гололед чаще всего (в среднем около 9 дней) наблюдается в районе Мозырского Полесья (Мозырская гряда), а изморозь – в районе Припятского и Гомельского Полесья (в среднем около 12 дней). Это связано с тем, что восточная территория Полесья несколько выше западных районов.

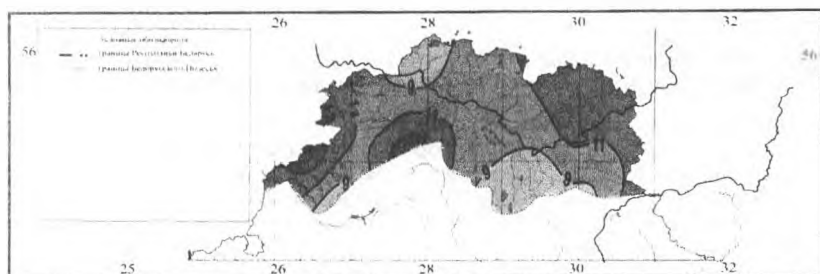
На территории Поозерья гололед чаще отмечается на западе (район Подвинья), на востоке – в районе Витебского Поозерья, на юге провинции – в районе Нарачано-Ушацкого Поозерья, изморозь – на востоке (Витебское Поозерье). Как показал анализ, гололедно-изморозевые явления чаще отмечаются на возвышенной территории.



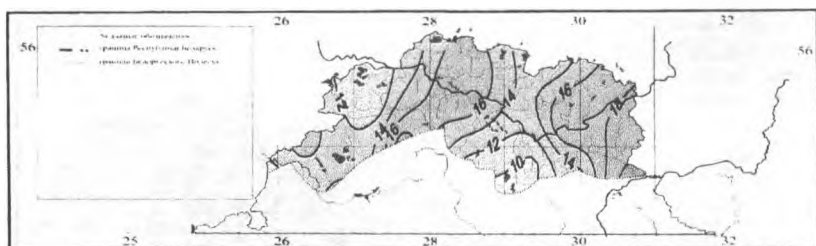
**Рисунок 1 – Пространственное распределение среднего годового числа дней с гололедом на территории Белорусского Полесья (1975-2012 гг.)**



**Рисунок 2 – Пространственное распределение среднего годового числа дней с изморозью на территории Белорусского Полесья (1975-2012 гг.)**

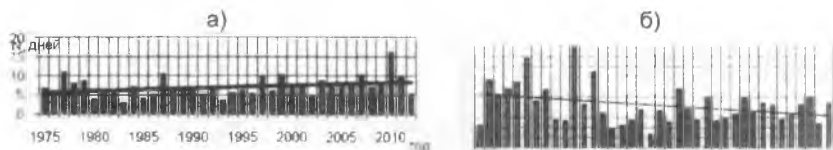


**Рисунок 3 – Пространственное распределение среднего годового числа дней с гололедом на территории Белорусского Поозерья (1975-2012 гг.)**

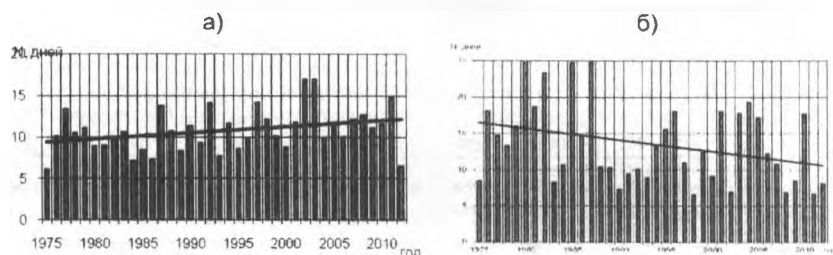


**Рисунок 4 – Пространственное распределение среднего годового числа дней с изморозью на территории Белорусского Поозерья (1975-2012 гг.)**

Временные особенности представлены на рисунках 5-6. За 38-летний период наблюдений число дней с гололедом увеличилось, а число дней с изморозью – уменьшилось, как на территории Белорусского Полесья, так и Поозерья. На территории Поозерья отмечается в среднем около 11 дней с гололедом, с изморозью – 14 дней. Несколько реже наблюдаются явления на территории Белорусского Полесья (7 дней с гололедом, 8 дней с изморозью).



**Рисунок 5 – Хронологический ход средних годовых значений количества дней с гололедом (а), изморозью (б) на территории Белорусского Полесья**



**Рисунок 6 – Хронологический ход средних годовых значений количества дней с гололедом (а), изморозью (б) на территории Белорусского Поозерья**

Проведена оценка влияния современного потепления климата на повторяемость числа дней с гололедно-изморозевыми явлениями. Исходные данные были разбиты на 2 периода: 1975-1987гг., 1988 - по настоящее время гг. Данное деление связано с тем, что с 1988 г. наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха на территории Беларуси, особенно в холодный период года (октябрь-март). Самыми теплыми считаются 1989 г, 2000, 2007, 2012 гг. [3, 4].

Как показал анализ, наблюдается рост числа дней с гололедом, как на территории Белорусского Полесья, так и Поозерья. На территории Белорусского Поозерья за 1975-1987 гг. наблюдалось в среднем около 10 дней в году,



в 1988-1999 и 2000-2012 гг. – около 11-12 дней, на территории Полесья – около 6, 7 и 8 дней соответственно.

Отмечается уменьшение среднего годового количества дней с изморозью на исследуемых территориях за 38 лет наблюдений. На территории Полесья в 1975-1987 гг. наблюдалось около 11 дней, на Поозерье – 16 дней. В последующие годы отмечается уменьшение количества дней с гололедом, в 1988-1999 гг. и 2000-2012 гг. – около 7 дней на территории Полесья, и 12 и 13 дней с изморозью на территории Поозерья.

Гололедно-изморозевые отложения как опасные метеорологические явления на Поозерии в районе Витебской области отмечается около 1,7 дней за год, а на Полесье по территории Брестской и Гомельской областей – 1,2 и 0,9 среднегодовых дня соответственно. На Поозерье чаще всего гололедно-изморозевые явления отмечаются с декабря по март составляет около 3 дней за период, на Полесье – около 2 дней. В сентябре-ноябре гололедно-изморозевые отложения отмечаются достаточно редко – около 0,1 дня с данным явлением.

Выполненный анализ временных рядов гололедно-изморозевых отложений показал связь с рельефом и потеплением климата. Выявлены следующие особенности в изменении: увеличилось количество дней с гололедом, а уменьшилось – с изморозью. На возвышенной территории Белорусского Поозерья чаще отмечается гололед, около 12 дней, на Полесье такая особенность не наблюдается, это связано с тем, что территория Полесья равнинная, средняя высота 140 м, а Поозерья – 178 м.

Неравномерное распределение гололеда и изморози на территории Белорусского Поозерья и Полесья определяется комплексным влиянием различных факторов на процессы гололедообразования (характер рельефа, экспозиция склонов, высота местности, степень защищенности со стороны атмосферного фронта). К районам наиболее часто подверженным гололедно-изморозевым явлениям относятся водораздельные возвышенности, открытые равнины, наветренные склоны, где создаются наиболее благоприятные условия для гололедоносущего потока.

#### **Список цитированных источников**

1. Метеорологический ежемесячник/ Мин-во природ. ресурсов и охраны окруж. среды Респ. Бел. Республ. гидрометеорол. центр. Климатич. Кадастр Респ. Бел. – Ч. 2, № 1-13. – Минск. – 1975-2008.

2. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: справочник / Мин-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь; под общ. ред. М.А. Гольберга – Минск : Белорусский научно-исследовательский центр Экология. 2002. – 132 с.

3. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. 2. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Гидрометеорол. изд-во, 1965. – 492 с.

**ПРОБЛЕМЫ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

## МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОНИКИ

**Введение** Анализ физических процессов, происходящих в полупроводниковых структурах возможен только с использованием средств вычислительно техники из-за многомерной природы переноса заряда в них. Поэтому стало важным построение соответствующих моделей расчета. Одним из направлений выделяется построение макроскопических моделей элементов на основе фундаментальной системы уравнений физики полупроводников.

Для описания физических процессов в полупроводниковых структурах кремниевых интегральных схем используются уравнения непрерывности для дырок и электронов, уравнение Пуассона для электростатического потенциала, уравнение Максвелла для полной плотности тока, уравнение для плотностей электронного и дырочного тока.

### **Постановка задачи численного моделирования элементов интегральных схем**

Основным этапом первых двух уровней моделирования является математическая формулировка задачи. Эта процедура включает вывод уравнений, описывающих основные физические процессы внутри структуры прибора, и граничных условий. Последние представляют собой математические зависимости, характеризующие процессы, происходящие на поверхности структуры. Эти зависимости имеют большое значение для моделирования, так как они отражают взаимодействие прибора с окружающей средой. Формулировке математической модели объекта предшествует ранжирование учитываемых факторов, процессов и эффектов и выбор приближений, от которых зависит сложность и эффективность модели. При этом выбирают конфигурацию и геометрические размеры модельной области, аппроксимируют распределения концентрации легирующих примесей в ней, обосновывают пренебрежения второстепенными физическими процессами и эффектами. На нижнем структурно-физическом уровне объект моделирования, в общем случае являющийся трёхмерной полупроводниковой структурой, представляют множеством плоских сечений, нормальных и параллельных плоскости рабочей поверхности БИС.

Множество сечений для нормирования модельных объектов выбирают на основании качественного анализа физических процессов в интегральной структуре элементов БИС. Эти сечения должны совпадать с плоскостями, в которых развиваются основные физические процессы, характеризующие работу прибора. Число сечений зависит от требуемой детализации учитываемых факторов, процессов и эффектов. Конфигурации моделей областей определяют в пределах этих сечений.

Физико-топологические модели должны:

- 1) просто и гибко учитывать топологию элементов БИС, в частности функционально-интегрированных (ФИЭ);
- 2) учитывать в интегральной форме наиболее существенные физические процессы, определяющие функционирование элементов БИС;
- 3) допускать стыковку по входам и выходам с электрическими эквивалентными системами, имитирующими условия работы элементов в составе БИС;

4) предполагать возможность моделирования фрагментов БИС с различной степенью приближения. Остановимся на каждом из перечисленных требований более подробно. Из первого требования следует, что модель должна быть в общем случае двумерной как для токов основных, так и неосновных носителей заряда в полупроводнике. При этом получается слишком громоздкая для практического проектирования модель.

#### **Теоретические модели плотности квантовых состояний**

При численном моделировании полупроводниковых приборов при наличии примеси, как правило, во всём диапазоне концентрации примеси используют модели, объединяющие (по принципу суперпозиции и некоторым другим правилам) модели Моргана [1] (для плотности квантовых состояний примесной зоны), Бонч-Бруевича [2] и Кэйна [3] (для случаев очень больших концентраций примеси).

Уравнения для плотности тока накладывают наиболее сильные ограничения на адекватность макроскопических моделей, поэтому и должны анализироваться в первую очередь.

В настоящее время разработаны более строгие теоретические подходы к расчёту сужения ширины запрещённой зоны. Несмотря на перспективность учёта сужения ширины запрещённой зоны с использованием теоретических подходов, наиболее целесообразным следует признать учёт эффектов сильного легирования при численном моделировании элементов ИС по эмпирическим моделям.

Альтернативный подход к учёту сужения ширины запрещённой зоны вследствие сильного легирования при моделировании элементов ИС может быть проведён с использованием экспериментальных данных. В настоящее время существует достаточно много методик определения  $\Delta E$ . По способу проведения измерений: результаты по оптическому поглощению; результаты по исследованию фотолюминесценции; электрические измерения; рентгеновские измерения.

Наиболее часто при численном моделировании привлекаются эмпирические модели работ Вольфсона-Субашиева, Ланьона-Тафта, Слотбума-де Грааффа [4].

#### **Модели подвижности**

Получение теоретических моделей подвижности осуществляется на основе вычисления времени релаксации с использованием классических или квантомеханических подходов. Эти модели, хотя и дают качественно правильные результаты, количественные значения далеки от экспериментальных. Иногда отличия имеют место и в степенных зависимостях от различных факторов, поэтому при численном моделировании используют эмпирические модели.

В настоящее время разработаны эмпирические модели, учитывающие влияние уровня легирования, поля, концентрацию подвижных носителей заряда, явления на поверхности, температуру. Наиболее часто при численном моделировании используется модель Коугей-Томаса [5].

#### **Модели процессов рекомбинации-генерации**

При моделировании рекомбинации необходимо учитывать 2 возможные разновидности рекомбинации:

1) рекомбинация зона-зона, при которой избыточные электроны зоны проводимости непосредственно переходят в валентную зону, и там происходит исчезновение пары свободных носителей заряда;

2) рекомбинация через локальные центры, находящиеся в запрещённой зоне проводника.

Численное моделирование элементов кремниевых ИС, как правило, производится в соответствии с общефизической картиной рекомбинации, либо с помощью эффективного подхода.

Во всём диапазоне концентрации примеси в кремнии часто применяется эффективный подход к учёту различных видов и механизмов рекомбинации с использованием только модели Шокли-Рида-Холла.

#### **Макроскопическая модель диэлектрика**

Т.к. в элементах кремниевых ИС всегда существуют области полупроводника, покрытые диэлектриком, то макроскопическую модель полупроводника необходимо дополнить макроскопической моделью диэлектрика. Т.к. модель диэлектрика более проста, чем модель полупроводника, для диэлектрика может использоваться фундаментальная система уравнений в предположении  $n_i = p_i = 0$ .

#### **Граничные условия**

Для полной физико-математической постановки задачи необходимо определить граничные условия, являющиеся математическим описанием взаимодействия прибора с внешней средой либо неоднородностей материала.

Физические принципы, лежащие в основе получения краевых условий:

1) в случае отсутствия потока заряженных частиц через поверхность полный ток равен нулю;

2) если в приборе имеются области с различной диэлектрической проницаемостью, контактирующие между собой, то граничные условия определяются на основе закона Гаусса-Остроградского;

3) на омических контактах предполагается неограниченная скорость поверхностной рекомбинации;

4) выходной ток определяется интегралом по площади омического контакта.

Физические принципы, лежащие в основе приведённых граничных условий, носят фундаментальный характер в случае отсутствия активного взаимодействия прибора с внешней средой, т.е. не могут накладывать существенных ограничений на справедливость рассматриваемой макроскопической модели.

#### **Исходные данные**

Для полной завершенности постановки задачи в каждом конкретном случае необходимо задание информации о структуре элемента. Данная информация включает 3 группы параметров:

1) технологические (геометрические размеры структуры, профиль легирования)

2) электрофизические (подвижность, параметры эффектов ВУЛ, параметры процессов генерации-рекомбинации и свойств поверхностей раздела)

3) управляющие воздействия.

Технологические параметры могут быть определены на основе экспериментальных значений, расчётным путём или гибридным способом.

Электрофизические параметры могут быть измерены, однако такой подход требует разработки специальных тестовых структур и соответствующей аппаратуры.

К параметрам управляющих воздействий относятся: напряжения на контактах (граничные условия); токи через контакты (граничные условия); некоторые другие параметры в случае учёта оптической генерации, ядерной и космической радиации.

**Заключение** Реализованные операции МКЭ могут быть использованы для разработки инструментария для построения базовых моделей расчета уравнений описывающих процессы в кремниевых структурах.

Выделена наиболее часто употребляемая на практике модель подвижности Коугей-Томсона в зависимости от уровня легирования, напряженности электрического поля.

Описаны основные виды и механизмы процессов рекомбинации-генерации. Отмечены недостатки наиболее известных теоретических моделей плотности квантовых состояний. Определены в качестве базовых уравнения для плотностей электронов и дырок, используемых и в случаях сильного легирования, по теоретическим и эмпирическим моделям. Наиболее целесообразными представляются расчеты по формулам Слотбума – де Граафа.

Важным приложением разработанных средств является использование для задач обучения. В целом, предложенные средства позволяют сократить время при подготовке тестирующего контента для системы обучения и контроля знаний.

#### **Список цитированных источников**

1. Morgan T.N., //Phys.Rev. 1965. Vol. 139, N1. P.A343-A348
2. Бонч-Бруевич В.Л. // ФТТ. 1962. Т.4, N 10. С.2660-2674; 1963.
3. Kane E.O. // Phys.Rev. 1963. Vol. 131, N1. P.79-88
4. Польский Б.С. Численное моделирование полупроводниковых приборов. – Рига, 1986, - 168 с.
5. Кофи, Томас // ТИИЭР. 1967. Т.55, N 12. С.132-134
6. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М., Мир, 1986. – с. 247

УДК 004.89:629

**Бабич И.В., Бакунович И.Д.**

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

### **МНОГОАГЕНТНЫЙ ПОДХОД В РЕШЕНИИ ДОРОЖНЫХ ПРОБЛЕМ**

Многоагентная система[1] - это направление искусственного интеллекта, которое предназначено для решения сложной задачи или проблемы используя системы, состоящие из множества взаимодействующих агентов.

В теории многоагентных систем (также часто встречается название «мультиагентные системы») за основу берется следующий принцип: считается, что один агент владеет всего лишь частичным представлением о глобальной проблеме, а значит, он может решить лишь некоторую часть общей задачи. В связи с этим для решения сложной задачи необходимо создать некоторое множество агентов и организовать между ними эффективное взаимодействие, что позволит построить единую многоагентную систему. В многоагентных системах весь спектр задач по определенным правилам распределяется между всеми агентами, каждый из которых считается членом организации или группы. Распределение заданий означает присвоение каждому агенту некоторой роли, сложность которой определяется исходя из возможностей агента.

Для организации процесса распределения задачи в многоагентных системах создается либо система распределенного решения проблемы, либо децентрализованный искусственный интеллект. В первом варианте процесс декомпозиции глобальной задачи и обратный процесс композиции найденных

решений происходит под управлением некоторого единого «центра». При этом многоагентная система проектируется строго сверху вниз, исходя из ролей, определенных для агентов и результатов разбиения глобальной задачи на подзадачи. В случае использования децентрализованного искусственного интеллекта распределение заданий происходит в процессе взаимодействия агентов и носит больше спонтанный характер. Нередко это приводит к появлению в многоагентных системах резонансных, синергетических эффектов.

Все ныне существующие инструменты моделирования трафика, не обеспечены такой же подробностью, как многоагентные системы. Все эти инструменты классифицируются в соответствии с их уровнем детализации, впервые эта классификация была использована проф. Вильямсом в 1997 году.

Классификация инструментов моделирования движения[2]:

- макроскопические
- мезоскопические
- микроскопические

Первые модели были математическими. Такая модели позволяла, воспроизводить ситуации на дороге, с помощью некоторых законов, по сути являющимися дифференциальными уравнениями, которые получались опытным путём через регрессии с использованием данных собранных в режиме реального времени с действующих участков дороги.

Поведенческие подходы, в отличие от математических, рассматривают движение как проявляющийся феномен, результирующий все действия и взаимодействия различных участников дорожного движения (машин, пешеходов, дорожных операторов). Поведенческий подход направлен точно моделировать и воспроизводить, поведение и воздействие имитирующих объектов. С целью получения реальных данных.

Подходы клеточных автоматов. Некоторые модели использующие клеточные автоматы, были введены для решения проблем на перекрестках. В 2002 году были использованы детерминистические клеточные автоматы, которые определяли с помощью сетки, какая ячейка занята автомобилем, а какая свободна. Но на самом деле определение занятости ячейки автомобилем определяло и скорость автомобиля, то есть могло быть лишь три скорости: 0, 25 и 50 км/ч.

Многоагентные подходы. В литературе о симуляции движения есть две модели выглядящих интересно, они представляют настоящую альтернативу классическим моделям симуляции движения.

Первая была представлена в 1998 году проф. Траноисом. Этот метод, есть адаптация известной "blackboard system" для планирования действий агентов, развивающихся в городской среде. Оригинальность этого подхода заключается в моделировании окружающей среды и распределение знаний о задаче вождения. Эти знания не интегрированы в стратегию каждого агента, но вместо этого они распределены среди субъектов дорожной инфраструктуры. Такое распределение означает, что выходной сигнал передаёт знания нужные для пересечения перекрестка во внимание различных агентов. Все знания, полученные агентом, расположены в порядке, зависящем от его релевантности в дорожной ситуации. Неудобство такого подхода является то, что поведение водителя напрямую связано с дорожной инфраструктурой.

Вторая модель была предложена в 2002 году проф. Паруяри. Они представили модель, в которой каждая симулируемая модель является автономной, выполняя свои собственные решения, используя легко настраиваемые параметры (автоматическое торможение, экстренное торможение, автомати-

ческий разгон, запас обгона, минимальное расстояние между транспортными средствами). Этот автор утверждает, что их модель позволяет смоделировать поведение водителя. Тем не менее, автоматическая адаптивность агентов ограничена, так как некоторые ситуации на дороге должны находиться под наблюдением и управляется из вне централизованного процесса.

«ArchiSim»[3] – это имитационная модель поведения транспорта на дорогах, модель поведения дорожного потока на перекрёстках.

Архитектура «ArchiSim» позволяет моделировать, распределяясь по множеству машин соединённых друг с другом с помощью сети Ethernet, а это означает, что агенты участвующие в моделировании могут действовать на разных автомобилях. Когерентность в целом обеспечивается сервером, который содержит все данные, к процессу моделирования. Процесс моделирования: описание дорожной сети и информации об автомобиле. Этот сервер централизует визуальную информацию, данные различных агентов: каждый участник моделирования, будь то виртуальный или реальный, подключён к серверу и получает набор информации о его ближайшем окружении на каждом шаге по времени в течении моделирования. После, принимая своё решение, каждый симулируемый водитель обновляет свою информацию на сервере.

При пересечении перекрёстка, водители могут решить любой конфликт, который возникает с другим транспортным средством. При моделировании, решение такого конфликта рассматривается проблема координации, т.к. каждый агент, приближающийся к перекрёстку должен скоординировать свои действия с другим для того, чтобы избежать столкновения. Проблема заключается в различии местности при решении одной водительской задачи. На самом деле, в южной части Европы и Азии, вождение является весьма конкурентоспособным. В северной Европе наоборот, менее конкурентоспособное, зато меньше места.

Механизм координации, используемый в «ArchiSim» предназначен быть более гибким, чтобы предусматривать все функции и воспроизводить большее количество различных водительских функций. На основе модели конфликтов внутри перекрёстка, этот механизм ломается при сложных взаимодействиях между агентами в элементарных ситуациях, даже если их два.

Координационный механизм имеет следующую динамику поведения. Агент приближается к перекрёстку и приступает к поиску всех транспортных средств, с которыми возможен конфликт и оценивает приоритет отношений с каждым транспортным средством. Каждый приоритет отношения используется в качестве местного правила, которое указывает стоит агенту ускориться или надо замедлиться. Когда несколько приоритетных агентов вовлечены в текущую ситуацию, агент выбирает поведение, которое приводит к более низкой скорости. В этой точке разработки «ArchiSim» координационный алгоритм управляет только продольным ускорением: это означает, что агент может выбрать между двумя действиями: Stop (остановиться) or Go (ехать). Каждое решение агента зависит от того, как агент интерпретирует приоритет отношений.

#### **Список цитированных источников:**

1. Тарасов В.Б. Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества.
2. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. Вильямс. 2006 (2007).
3. Arnaud Doniec, Rene Mandiau, Sylvain Piechowiak, Stephane Espie. «A behavioral multi-agent model for road traffic simulation»



## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОРЦОВОГО УПЛОТНЕНИЯ С РЕЗЕРВНЫМ УЗЛОМ ЗАЩИТЫ**

Бесперебойный транспорт нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам во многом зависит от надежной работы насосного агрегата и, в частности, наиболее ответственного узла центробежных магистральных насосов торцового уплотнения.

Анализ работы насосного оборудования показывает, что число его отказов вследствие выхода из строя торцовых уплотнений в последние годы заметно снизилось. Однако достигнутые результаты не должны останавливать нас перед проведением научных исследований, направленных на дальнейшее повышение надежности торцовых уплотнений. Направление необходимых исследований подсказывают причины выхода из строя уплотнений.[1]

Износ деталей уплотнения – фактор закономерный, но величина его во времени может быть различной. Существенное влияние на износ торцового уплотнения оказывают типы системы разгрузки и охлаждения торцовых уплотнений, качество перекачиваемой нефти (наличие и вид механических примесей, солей, газов), а также режимы перекачки: пуски и остановки насоса, количество одновременно работающих насосных агрегатов, величина давления на приеме и выходе насосной станции и пиковые колебания давления при гидравлических ударах.

Увеличение износа торцового уплотнения под воздействием перечисленных факторов, кроме внезапного повышения давления, предотвращается рациональным выбором материала контактных колец торцового уплотнения. Хорошо зарекомендовал себя композиционный материал на основе карбида вольфрама, обеспечивающий высокую износостойкость и теплопроводность при низком коэффициенте трения.

Герметичность, а, следовательно, и надежности торцового уплотнения при резком повышении давления в камере уплотнения, может быть обеспечена только при определенном соотношении конструктивных размеров элементов торцового уплотнения, ибо высокое давление уплотняемой среды вызывает деформацию контактных колец, т.е. нарушает параллельность рабочих поверхностей. Величина деформации зависит от формы радиального сечения кольца и положения уплотнительного резинового элемента на нем.

Целью настоящей работы является моделирование торцового уплотнения в среде Autodesk Inventor и получение оптимальной геометрии контактных колец трения.

В работе мы рассмотрели торцовое уплотнение типа УТН-120С. За основу данного уплотнения приняты торцовые уплотнения одинарного типа ТМ-120 и УНИ, уже зарекомендовавшие себя длительной эксплуатацией на насосах магистральных трубопроводов.[2]

Дополнительным элементом является узел защиты. Узел защиты должен обеспечить герметичность вала по корпусу насоса в случае отказа торцового уплотнения от момента возникновения давления в камере резервного уплот-

нения и срабатывания автоматической системы отключение насосного агрегата до момента полного закрытия задвижек на линии всасывания и нагнетания.

На рисунке 1 представлена 3D модель торцового уплотнения типа УТН-120С.



**Рисунок 1 – 3D модель торцового уплотнения типа УТН-120С**

Расчет и подбор оптимальной геометрии колец пары трения торцового уплотнения

Угол поворота сечения кольца и отклонение контактной поверхности от рабочей плоскости можно определить:

$$\varphi = (M_c + M_t) \frac{R_c}{E I}, \quad (1)$$

где  $M_c$  – момент от внешних сил;

$M_t$  – изгибающий температурный момент;

$R_c$  – радиус центра тяжести кольца;

$E$  – модуль упругости материала кольца;

$I$  – момент инерции сечения кольца.

Чтобы свести к нулю угловую деформацию контактных колец, необходимо форму сечения кольца выбрать такой, при которой момент от внешних сил будет мало отличен от нуля:

$$M_c = \sum Q_i l_i = 0; \quad (2)$$

где  $Q_i$  – сила, действующая на кольцо;

$l_i$  – расстояние от центра тяжести сечения до места приложения силы  $Q_i$ .

На рисунке 4 представлены геометрические характеристики контактных колец.

Форма сечения кольца определяется ее геометрическими характеристиками (рисунок 4) –  $d_1, d_2, d, d_0, b_1, b_2$ .

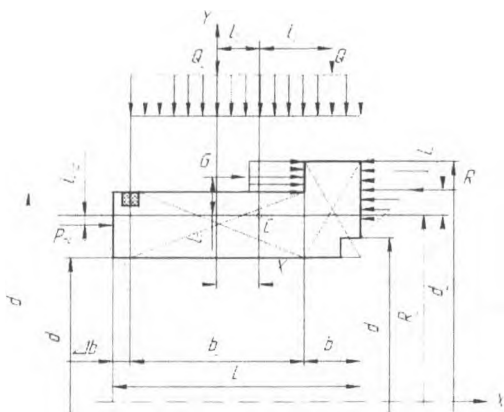


Рисунок 2 – Геометрические характеристики контактных колец

Из уравнения равновесия осевых сил, приложенных к аксиально-подвижному кольцу,

$$p_{\text{пр}} + G - R \pm T = 0.$$

однозначно определяется соотношение между диаметрами аксиально-подвижного кольца с учетом действующего давления  $p$  посредством выбора коэффициента гидравлического уравновешивания:

$$K = \frac{d_2 - d}{d_2 - d_1} \quad (3)$$

Величины  $d_0$ ,  $d_1$  и  $d_2$  всегда определяются конструктивно, а  $d$  – из соотношения (3) при условии, что для давления среды  $p > 1$  МПа  $0,55 < K < 0,6$ . Здесь

$p_{\text{пр}} - [p_{\text{уд}} - (K - 0,5)p] \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2)$  – усилие сжатия пружины;  $R = 0,5 \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2)$  – расклинивающие усилие, действующие на контакте пары трения;

$G = K p \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2)$  – усилие от давления уплотняемой среды, действующее на гидравлически неуравновешенную площадь аксиально-подвижного кольца;  $T$  – сила трения кольца, подвижного в осевом направлении, о корпус уплотнения (в расчете не учитывается);  $p_{\text{уд}}$  – удельное нагружение контакта, выбираемое для пар трения экспериментально  $p_{\text{уд}} = 0,4 + 0,6$  МПа.

Составим уравнение моментов внешних сил относительно центра тяжести сечения, с учетом условия:

$$p_{\text{пр}} l_{\text{пр}} + R l_R + Q_2 l_{Q_2} - G l_G - Q_1 l_{Q_1} = 0 \quad (4)$$

где  $Q_1 = \pi p d_2 b_1$  – усилие от давления уплотняемой среды, действующее на участке  $b_1$ ;

$Q_2 = \pi p d_2 b_2$  – усилие от давления уплотняемой среды, действующее на участке  $b_2$ ;

$l_{\text{пр}}, l_R, l_{Q_2}, l_G, l_{Q_1}$  – расстояние от центра тяжести до точки приложения соответствующих сил (см. рисунок 2)

$$l_{r_n} = R_r \frac{d_n + d}{4}; \quad l_c = \frac{d_n + 2d}{6} - R_r;$$

$$l_{Q_1} = \frac{b_1 + b_2}{2}; \quad l_{Q_2} = \frac{d + d_n}{4} - R_r; \quad l_{Q_3} = x_r.$$

Из рисунка 3:  $b_1 + b_2 + \Delta b = L$ .

Обозначив  $\frac{b_1}{L} = B_1$ ;  $\frac{b_2}{L} = B_2$ , и пренебрегая ввиду малости  $\frac{\Delta b}{L} = 0$ , где  $L$  — длина кольца, имеем:

$$B_1 + B_2 = 1 \quad (5)$$

Решая совместно (3) и (5), определяем соотношение размеров кольца  $b_1$  и  $b_2$ , удовлетворяющее условию (1).

На рисунке 5 показана оптимальная форма сечения контактного кольца.

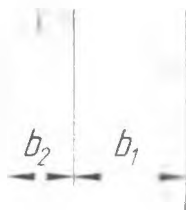


Рисунок 3 — Оптимальная форма сечения кольца

Принцип герметизации торцового уплотнения основан на создании гидравлического сопротивления в торцовом щелевом зазоре контактного пояса пары трения. Гидравлическое сопротивление создаваемое щелевым зазором достигается прецизионной обработкой контактных поверхностей колец пары трения ( $R_a = 0,08 - 0,16$  мкм и отклонением от плоскостности  $0,6 - 0,9$  мкм)

В ходе проведенного моделирования торцового уплотнения типа УТН-120С, выполнен расчет действующих сил на пару трения и получено, что для конструкции торцового уплотнения, имеющей при диаметре вала 120 мм размеры  $d_2=150$  мм,  $d_1=136$  мм,  $d_0=130$  мм,  $K=0,575$  и  $d=142$  мм при давлении среды 1 МПа ( $10$  кгс/см<sup>2</sup>), отношение размеров  $b_2/b_1=2,61$ . Для той же конструкции, но при давлении среды 5 МПа ( $50$  кгс/см<sup>2</sup>), это соотношение  $b_2/b_1=0,95$ . То есть с повышением давления среды необходимо изменять форму сечения кольца, уменьшая размер  $b_2$ . Этому условию отвечает форма сечения кольца, показанная на рисунке 3.

#### Список цитированных источников

1. Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник. / Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.В. Гордеев и др. Под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1994. — 448 с.

2. Голуб М.В., Харламенко В.И. Давление в зазоре контактной пары трения торцового уплотнения. // РНТС. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. — М.: ВНИИОЭНГ, 1983, №9. — С. 9—10.

3. Голуб М.В. Отчет по научно-исследовательской работе. Исследование условий работы уплотнений нефтяных магистральных насосов, обоснование параметров уплотнений. Брест, 1986.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ ВЫГОДНЫХ МАРШРУТОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ГОРОДЕ

В нашем городе насчитывается около 60 маршрутов, включая экспериментальные и заказные автобусы. За счет этого информирование людей об изменениях в расписании становится непростой задачей. Для этого используются газеты, а так же объявления на различных интернет ресурсах и интернет ресурсы для поиска маршрутов

С ростом высоких технологий растёт роль интернета и влияние его на жизнь любого человека. Для облегчения жизни пользователей создаётся множество интернет ресурсов.

Так и создание мобильного приложения способного дать ответ на вопрос "Как лучше добраться из пункта А в пункт Б?" должно сильно облегчить жизнь простым горожанам.

Да и использование интернет ресурса для решения поставленной задачи автоматически облегчает решение других подзадач таких как постоянное обновление базы данных с маршрутами и возможность обращения к данному ресурсу с помощью устройств на любой ОС.

Конечно имеются и свои минусы, такие как необходимость пользователю иметь доступ в интернет и постоянного подключения к интернету. А иметь доступ в интернет из любой точки города с любого устройства в любой момент времени пока не представляется возможным.

Существуют сайты, которые предоставляют возможность ознакомиться с расписанием движения любого автобусного маршрута и так же имеет возможность вывода времени отправки этого маршрута с выбранной остановки.

Однако, поставленная задача была решена не полностью. Отсутствует возможность выбора конечного пункта движения и поиска оптимального маршрута.

Поэтому было решено создать мобильное приложение, способное выполнять заданные функции и главное - быть доступным в любой момент времени.

Разработка алгоритма действия программы требует построения модели автобусного движения города. Так же требуется разработка алгоритма поиска выгодных маршрутов для передвижения по городу и разработка обновляемой базы данных на основе базы городского автопарка.

Для автоматизации поиска маршрутов и вычисления времени прибытия нужно правильно представить модель автобусного движения в программе. Исходя из требований к программе, таких как способность поиска маршрутов в любое заданное время между любыми заданными остановками было решено модель движения представить следующим образом:

- 1) Класс маршрут, содержащий все проезжаемые им остановки, и время отбытия каждого рейса.
- 2) Класс автобусная остановка, который содержит все маршруты проезжающие через неё.

Данная модель не только делает возможным решение поставленных задач, но и облегчает импорт информации из базы данных автобусного парка, т.к. в базе данных информация о маршрутах, времени их прибытия на остановочные пункты хранится именно в таком виде. А если учесть, что информация

хранится в этом виде не только в базах данных брестского автобусного парка, но и в базах данных других городов, то данная модель способствует применению разрабатываемого приложения не только в пределах г. Бреста, но и в других городах Республики.

Основной задачей разрабатываемого в этой работа приложения конечно же является поиск оптимальных маршрутов между двумя остановками и вывод наиболее выгодных. Исходя из указанных требований был разработан следующий алгоритм поиска маршрутов без пересадок:

- 1) Выбор остановок и ввод времени
- 2) Поиск подходящих прямых маршрутов (Поиск осуществляется выбором общих маршрутов между двумя остановками)
- 3) Вычисление времени прибытия (Время же берется из класса маршрут)
- 4) Отбор наиболее выгодных маршрутов по временным затратам (В итоге будет выводиться три наиболее быстрых маршрута)

Т.к. мы не всегда можем добраться до нужной остановки без пересадок, то необходим алгоритм поиска нужных маршрутов. Что бы добраться из одной точки города в любую другую будет достаточно одной пересадки. Основываясь на этом мы разработали алгоритм поиска маршрутов с возможностью пересадки на другой маршрут в указанной программой остановке:

- 1) Поиск общей остановки у маршрутов, которые проходят через начальную и конечную остановки (Генерируем маршруты по алгоритму указанному выше)

- 2) Поиск наиболее выгодных маршрутов с начальной остановки до промежуточной

- 3) Поиск наиболее выгодных маршрутов с промежуточной остановки до конечной (Так же используем вышеуказанный алгоритм)

- 4) Отбор наиболее выгодных маршрутов по временным затратам

Так же существуют такие места, где иногда переход с одного остановочного пункта на другой может существенно сократить временные затраты на передвижение. Такие места мы объединяем в так называемые «узлы остановок» Остановки, объединенные в узел, зачастую они находятся по разные стороны одного перекрестка, и переход между остановками занимает не более двух минут.

В программе маршруты проходящие через «узел» будут рассматриваться как маршруты проходящие через одну остановку. Но если все же выбор маршрута потребует перехода с одной остановки на другую, то приложение покажет, как и куда следует перейти.

УДК 519.713

*Гутников В.С.*

*Научный руководитель: ст. преподаватель Тузик И.В.*

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ КОНЪЮНКЦИИ ДВУХ ПЕРЕМЕННЫХ В ОДНОЭЛЕМЕНТНОМ БАЗИСЕ**

В данной работе рассматриваются возможности программного средства для поиска наилучшего представления конъюнкции в одноэлементном базисе в виде пошаговых действий.

Если булева функция образует базис, то любая логическая функция может быть представлена в нем. Но не каждая функция может служить базисом. По-

этому проводится предварительная проверка на возможность использования заданной функции в качестве базиса, и последующее нахождение представлений в этом базисе отрицания, конъюнкции и констант.

Основной целью работы было избавить пользователя от трудоемкого поиска подходящих вариантов представления конъюнкции в одноэлементном базисе путем перебора вручную. Рассматриваемая программа способна найти представления исходя из заданного выражения или значений булевой функции, что избавляет пользователя от всех промежуточных вычислений.

Пользователю разрешено вводить выражения, которые содержат от одной до 26 переменных, или вводить значения булевой функции. Поэтому для выполнения необходимых преобразований автором были разработаны методы, позволяющие увеличить скорость вычисления некоторых объемных данных. В результате работы программа выводит не только решение поставленной задачи, но и промежуточные результаты: 1) таблицу истинности заданной функции, 2) ее полином Жегалкина, 3) проверку критериев полноты системы, образованной заданной функцией.

Ниже приводится экранная копия (рис. 1), на которой показаны введенные данные (функция, заданная выражением), а также полученная таблица истинности и найденный полином Жегалкина.

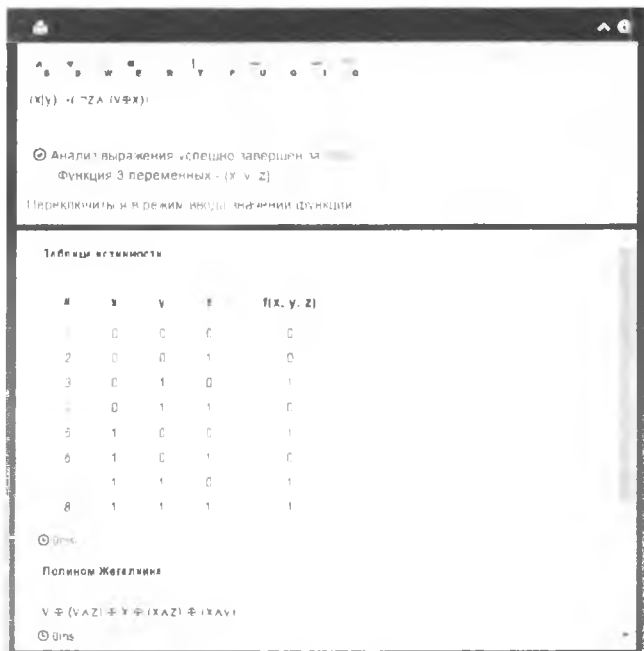


Рисунок 1

После анализа выражения и вычисления промежуточных данных программа приступает к отысканию требуемых представлений. Для конъюнкций, в отличие от констант и отрицания, выводятся все возможные варианты пред-

ставления в заданном базисе. Пользователю предлагается выбрать один из вариантов, после чего выводится окончательный результат.

На рисунке 2 показаны полученные представления констант, отрицания и конъюнкции, и окончательные выражения для них, найденные исходя из выбранных пользователем вариантов.

**Представления константы 1**

#	Номер набора	Переменные набора
	14	a b c ne
a	13	a b ce
	11	a b ce
	7	a b c e

**0** Представление константы 0 будет представлено через константу 1:  $0(x) = \neg e(x)$

**Представление отрицания**

#	Набор
a	0000

**Представление конъюнкции**

#	Замена переменных	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	результат
	c e = 0	false	false	true	(a b) ⊕ 1
	c e = 1	false	false	true	(a b) ⊕ 1
	b e = 0	true	false	true	a ⊕ (a c) ⊕ 1
a	b e = 1	false	false	true	(a c) ⊕ 1
	b c = 1	false	false	true	(a e) ⊕ 1
	a e = 0	true	false	true	b ⊕ (b c) ⊕ 1
	a e = 1	false	false	true	(b c) ⊕ 1
	a c = 1	false	false	true	(b e) ⊕ 1

**Результаты:**

$\neg x = f(x, x, x, x)$

$1 = e(x) = f(x, x, f(x, x, x, x), x)$

$0 = \neg e(x) = f(f(x, x, f(x, x, x, x), x), f(x, x, f(x, x, x, x), x), f(x, x, f(x, x, x, x), x), f(x, x, f(x, x, x, x), x))$

$a|c = \neg((a, f(a, a, f(a, a, a, a), a), c, f(a, a, f(a, a, a, a), a)))$

Рисунок 2

Данная работа может быть развита в математический пакет булевой алгебры для решения большого количества задач, связанных с анализом логических функций.



## ВЛИЯНИЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ НА УСЛОВИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Интенсивный рост количества автомобильного транспорта, особенно в городах, постоянно повышает актуальность мероприятий, направленных на снижение негативных явлений, вызванных автомобилизацией. Кроме того, постоянно растущие объемы пассажирских и грузовых перевозок предъявляют повышенные требования к контролю качества, безопасности и своевременности перевозок. Увеличение загрузки улично-дорожной сети снижает эффективность использования транспорта (увеличение времени задержек, количества остановок, расхода топлива, износа), повышает количество дорожно-транспортных происшествий, увеличивает износ дорожного покрытия и значительно ухудшает экологическую обстановку (загрязнение воздушного бассейна, в том числе канцерогенными компонентами, увеличение шума). По исследованию крупного российского аналитического агентства "Автостат" в 2014 году, Беларусь занимает 46-е место в мире по уровню автомобилизации – 355 автомобилей на 1000 человек населения. Россия - на 52-м месте (317), Украина на 69-м (191). За первые три месяца 2015 года в Республике Беларусь было зарегистрировано 16425 новых автомобилей, говорится в отчете аналитического агентства «Автостат». Это в 2,3 раза больше, чем за аналогичный период прошлого года (7159 шт.) [1].

Дорожное движение характеризуется потерями. Из-за гигантских масштабов и других особенностей дорожного движения, даже незначительные недостатки в его работе приводят к огромным потерям в экономической (потери от разрушения дороги и обустройства, повреждения транспортного средства и грузов, расходы на расследование аварии, пенсии, пособия, лечение пострадавших или похороны погибших), экологической (потери от изменения нормальной психики людей, подвергшихся смертельному риску, либо психики людей, подвергших смертельному риску своих близких), аварийной (последствия аварий) и социальной (ущерб от превышающих минимально возможные величины выбросов вредных веществ в атмосферу, загрязнения воды и почвы, а также транспортного шума и вибрации) областях. А поскольку сегодняшние недостатки в работе дорожного движения никак нельзя назвать незначительными, то потери столь велики, что они значимо сказываются на уровне развития государства и благосостоянии населения.

Адаптивные системы управления дорожного движения (АССУД), как известно, имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными планами синхронизации движения. В идеале, АСУДД лучше всего работают в условиях с высоким уровнем нерегулярных заторов, таких как аварии и специальные мероприятия, а также в районах с изменяющимся спросом трафика. АСУДД не обязательно является "ответом" для любой ситуации. Важно понимать, что не следует ожидать, что развертывание АСУДД может полностью решить все вопросы заторов. Вместо этого, АСУДД можно рассматривать как инструменты, которые могут помочь уменьшить заторы путем поощрения оперативного контроля и управления транспортной сети. Основная область выгод, которые могут быть достигнуты с помощью развертывания АСУДД является оператив-

ность, измеряется с помощью снижения задержек, остановок, и других негативных мер производительности. Развертывание АСУДД повышает безопасность операции движения только косвенно через снижение некоторых показателей деятельности по повышению эффективности, которые высоко коррелируют с некоторыми метриками безопасности (например, сокращение числа остановок уменьшает шанс наезда).

В доказательство эффективности АСУДД приведены результаты внедрения нескольких популярных АСУДД. Например, система SCOOT установлена в таких городах как Лондон (Англия), Пекин (Китай), Торонто (Канада) и Солт-Лейк-Сити (США). Результаты по сравнению с предыдущим состоянием дорожного движения в Лондоне оказались следующими: время задержки автомобилей на светофорах уменьшилось на 8%, количество остановок на перекрестках – на 19%, общее время пути на участках, где была установлена система, уменьшилось на 5%. Например, в Пекине время задержки на светофорах уменьшилось на 16%, количество остановок – на 32%, а общее время пути – на 31%. Для Торонто система показала следующее: время задержки уменьшилось на 22%, количество остановок – на 17%, время пути – на 8% [2].

Результаты системы InSync, установленной в некоторых городах США, также являются положительными и выглядят следующим образом: время задержки автомобилей на светофорах уменьшилось на 34-81%, количество остановок уменьшилось на 22-88%, общее время пути уменьшилось на 16-43% экономия топлива составила 8-33%, а экономия автомобилистов составила от 8 тысяч до 8 миллионов долларов в год [3].

Преимущества развертывания АСУДД сообщается в многочисленных исследованиях, опубликованных в течение последних 30 лет, начиная с первых практических применений систем. Когда эти обобщенные выводы были разбиты на различные показатели деятельности было установлено, что 60% пользователей АСУДД наблюдают снижение времени задержек, после того как система начинает действовать. Точно так же, развертывание АСУДД сокращает количество остановок, задержек на перекрестках и длины очереди в 37%, 37%, и 23% случаев соответственно. Увеличение средней скорости наблюдались у 35% пользователей АСУДД.

Преимущество АСУДД в перенасыщенных условиях дорожного движения является одним из наиболее спорных аспектов производительности системы. Многие пользователи АСУДД утверждают, что системы существенно не помогают в перенасыщенных условиях дорожного движения, хотя другие заявили обратное. Опросы показывают, что только очень небольшой процент опрошенных агентств (3%) признают, что их АСУДД предотвращают или ликвидируют перенасыщение. Большинство опрошенных агентств сообщили, что их АСУДД уменьшили или устранили протяженность периодов перенасыщения. Примерно 33% пользователей АСУДД определили систему контрпродуктивной в перенасыщенных условиях дорожного движения [4].

Обзоры наиболее широко используемых АСУДД показывают, что различные системы используют подобные стратегии, чтобы справиться с колебаниями спроса и распределения трафика. Тем не менее, каждый инструмент уникален и без прямого сравнения трудно сравнить алгоритмы и адаптивной логики различных инструментов. Полевые реализации различных инструментов еще более уникальные, чем их логика, что делает оценки непосредственно в работе дорогой, и поэтому нецелесообразной. По этой причине, в частности, очень мало исследований в литературе свидетельствуют, что эксплуатационные понятия одной конкретной АСУДД лучше, чем у другой.

Пользователи АСУДД в основном удовлетворены возможностью их систем, которые обеспечивают и регулируют ежедневные в пределах суток колебания трафика. Отрицательные отзывы были в основном связаны с трудностями в обучении, в том, как работать с системой и коммуникацией оборудования.

#### Список цитированных источников

1. Аналитическое агентство АВТОСТАТ – 27 апреля 2015  
Режим доступа: <http://www.autostat.ru/news/view/21057/>
2. Адаптивная система управления дорожного движения SCOOT  
Режим доступа: <http://www.scoot-utc.com/>
3. Адаптивная система управления дорожного движения InSync  
Режим доступа: <http://rhythmtraffic.com/insyncs-performance/>
4. NCHRP SYNTHESIS 403 - Adaptive Traffic Control Systems: Domestic and Foreign State of Practice // TRANSPORTATION RESEARCH BOARD WASHINGTON, D.C. 2010

УДК 51-74

*Дмитраница С.Г., Матяс П.И.*

*Научный руководитель: доцент Кофанов В.А.*

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЛАЙН-ФУНКЦИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОМОГРАММ В СИСТЕМЕ MATHCAD

Очень часто в технической литературе взамен расчетам с использованием громоздких формул, предлагают использовать номограммы. На практике, использование номограмм значительно сокращает время проведения расчетов. К тому же графические манипуляции, выполненные на номограмме, гораздо легче проверить визуально.

Слово «номография» объясняется тем, что каждая формула, для которой строится номограмма, выражает обычно закон течения какого-либо процесса или закон, по которому изменяются различные переменные величины, входящие в данный расчет. Номограмма – графическое изображение этого закона.

Существенное отличие номографии от других графических методов расчета и графической алгебры состоит в следующем.

Графическая алгебра и графическое исчисление вообще имеют задачей создать геометрические построения, эквивалентные различным аналитическим операциям. Графическое умножение, графическое возведение в степень, графическое решение уравнений, графическое интегрирование и т.д. представляют собой систему построений, могущих заменить с известным приближением арифметическое умножение и возведение в степень, алгебраическое решение уравнений, аналитическое интегрирование и т.д. Выполнение этих операций требует каждый раз последовательности построений, приводящих в результате к графическому определению искомой величины.

Номография имеет своей задачей построение чертежей, эквивалентных данным формулам; пользование этими чертежами уже не требует никаких дополнительных построений [1].

С развитием системы компьютерной математики MathCAD появилась возможность перейти на новый уровень проведения расчетов, организовать которые можно разными способами, но каким бы способом вы не пользовались конечная цель расчетов – это отчет по результатам.

Отчет по результатам, полученным на основе нескольких десятков выражений, составить проще. Выглядеть он будет как чередование комментариев, выражений и ответов с единицами измерения. Система MathCAD предоставляет широкий набор инструментов, позволяющих с легкостью сформировать такого рода отчет.

Отчет с графическим представлением результатов реализовать гораздо сложнее, хотя в MathCAD для этих целей разработан ряд графиков с широким выбором их настройки. Тем не менее, они не в силах отразить сложные графические объекты. К таким объектам можно, в некоторой степени, отнести номограммы.

Для отображения номограмм часто приходится идти на некоторые хитрости, невидимые для глаз пользователя, использовать разнообразные численные методы, сложные функции, требующие от разработчика вычислительного документа большого опыта.

Прежде чем приступить к работе с номограммой ее сначала необходимо оцифровать с помощью функций, полученных путем вывода их из приведенных выражений, либо с помощью интерполяции дискретных данных.

Для реализации последнего способа в MathCAD можно воспользоваться сплайн-функциями: lspline(), pspline() и cspline(). Синтаксис этих функций и примеры, иллюстрирующие их работу, приведены в справочной системе MathCAD, а также в учебниках и справочниках по данной тематике [2, 3 и др.]. Однако ни в одном из известных нам источников нет внятного пояснения о различиях этих функций, кроме того, что они выдают разные результаты.

Как известно, кубический сплайн представляет собой кусочный полином третьей степени, который на отдельном сегменте  $[x_i, x_{i+1}]$  можно представить в виде:

$$P_i(x) = \sum_{k=0}^3 (B_k^i \cdot x^k),$$

где  $B_k^i$  – постоянные коэффициентов полинома на  $i$ -ом участке.

Постоянные коэффициенты на каждом сегменте кусочного полинома определяются исходя из совокупности условий.

Одними из таких условий являются равенство функций  $P(x)$  и ее первой и второй производной соседних участков в точке соединения этих участков, чем обеспечивается их непрерывность на всем диапазоне. Рассматривая графики второй производной аппроксимирующих функций, изображенных на рисунке 1, наблюдаем выполнение этих условий.

Также на графиках показано, что при аппроксимации функцией lspline() в качестве дополнительных условий для определения коэффициентов  $B$ , используется условие  $P'(x) = 0$  в первой и последней точках.

При аппроксимации функцией pspline() дополнительным условием является использование на первом и последнем участке рассматриваемого диапазона вместо полинома третьей степени полином второй степени – парабола (горизонтальная прямая на графике второй производной).

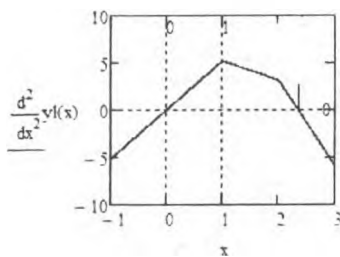
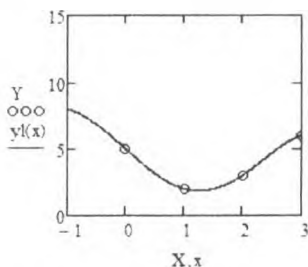
В качестве дополнительного условия при аппроксимации функцией cspline() используется равенство коэффициентов полинома третьей степени на первых двух участках и на последних двух участках.

Исходя из описанных особенностей сплайн-функций следует то, что выполнять интерполяцию данных на номограммах необходимо функцией cspline().

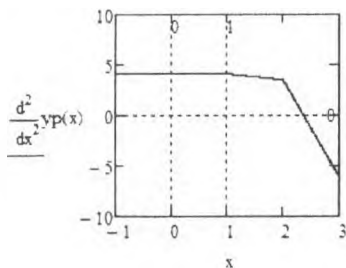
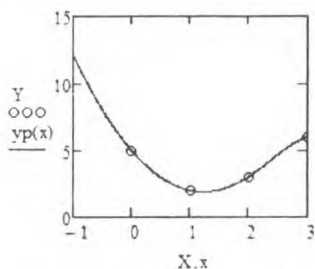
$$X = (0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6)^T$$

$$Y = (5 \ 2 \ 3 \ 6 \ 5 \ 2 \ 4)^T$$

$v1(x) := \text{interp}(\text{lspline}(X, Y), X, Y, x)$



$vp(x) := \text{interp}(\text{pspline}(X, Y), X, Y, x)$



$vc(x) := \text{interp}(\text{cspline}(X, Y), X, Y, x)$

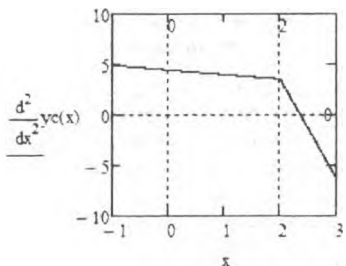
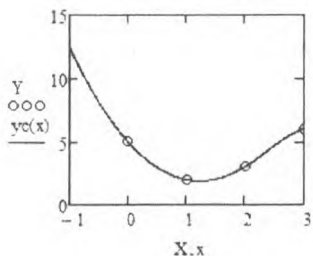
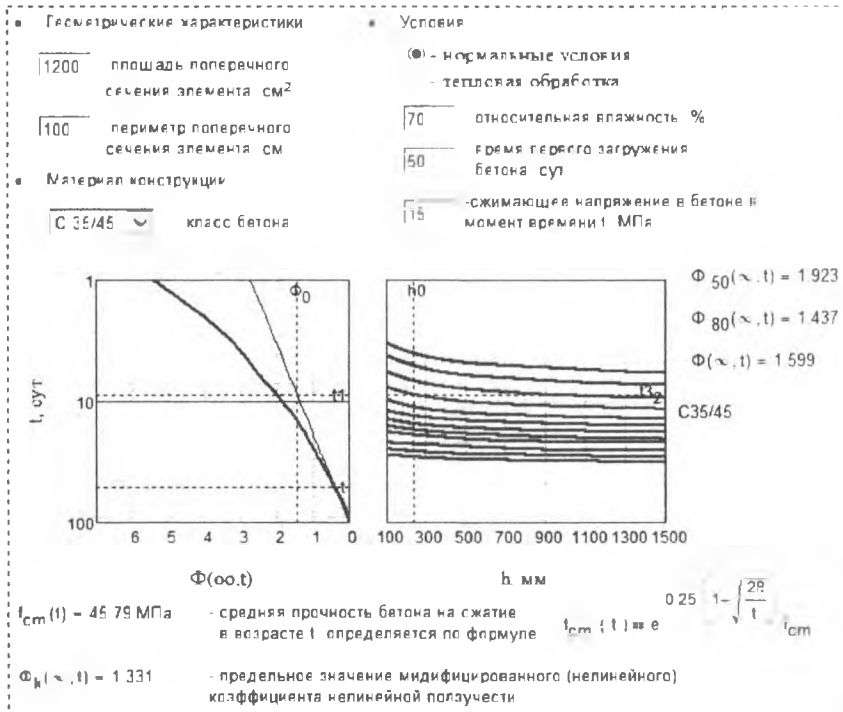


Рисунок 1 – Пример использования сплайн-функций в системе MathCAD

Покажем на первом примере созданную в MathCAD номограмму из СНБ 05.02.03-01 (рисунок 2), которая позволяет путем нехитрых графических построений определить предельные значения коэффициента ползучести бетона.

Для рассматриваемой номограммы функциональные зависимости не были приведены. В этом случае для каждой кривой "снялось" несколько точек, по которым выполнялась интерполяция сплайн-функцией.

Для удобства визуального контроля на графиках отображены построительные линии, которые меняют свое местоположение в зависимости от заданных параметров



**Рисунок 2 – Номограмма для определения предельных значений коэффициента ползучести бетона в системе MathCAD**

Другой пример иллюстрирует созданную в системе MathCAD номограмму для выбора бетононасосов (рисунок 3), которую можно представить в виде совмещенных 2D графиков.

В случае если на графике отсутствовала нужная прямая, ее необходимо было дорабатывать путем интерполяции между двумя соседними прямыми. Для реализации этой особенности в MathCAD был составлен программный модуль [4], позволяющий выполнять двойную интерполяцию. В итоге, полученная функция на 3D графике представляла собой поверхность, а на 2D графиках отображалась набором линий уровня.

Дополнив шаблон веб-элементами, позволяющими удобно вводить исходную информацию, скрытыми переменными, позволяющими управлять динамически изменяющимися комментариями, мы получаем вычислительный графический документ для многократного использования. При этом после ввода исходных данных автоматически формируется отчет, который можно распечатать и приложить к разрабатываемому проекту.

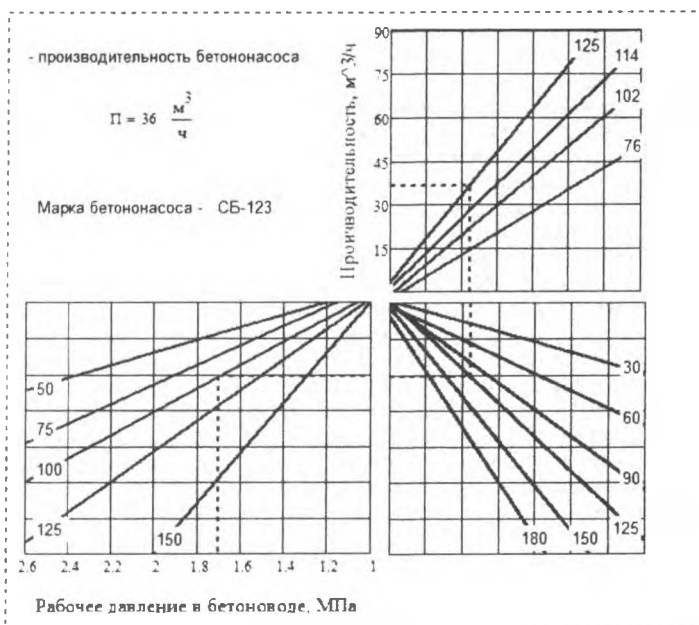


Рисунок 3 – Номограмма для выбора бетононасосов в системе MathCAD

#### Список цитированных источников

1. Глаголев, Н.А. Курс номографии / Н.А. Глаголев. – М. : Высшая школа, 1961. – 270.
2. Кирьянов, Д.В. Mathcad 13 / Д.В. Кирьянов – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с.
3. Электронный курс по Mathcad // Центр технологий дистанционного обучения [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: <http://detc.is.ufu.ru/assets/amath0021/17.htm>. – Дата доступа: 03.03.2015.
4. Очков, В. Ф. Mathcad: от графика к формуле, от расчета на компьютере к расчету в Интернет / В.Ф. Очков // Exponenta Pro: математика в приложениях. – 2003. – № 4 (4). – С. 84-85.

УДК 004.896:629.014

Евтух А.В.

Научный руководитель: ст. пр. Касьяник В.В.

## СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ И ПЕШЕХОДНЫХ ПОТОКОВ

Современный динамично развивающийся мир невозможно представить без автомобилей. Ежегодно увеличивающиеся темпы роста транспорта приводят к ухудшению эффективности функционирования транспортной системы. Увеличивается количество заторных ситуаций, не эффективно используется дорожное полотно.

По причине заторов на дороге возникают небезопасные ситуации во время дорожного движения, психологическое и физическое состояние водителей

ухудшается в таких условиях, теряется внимание. Поэтому совершенствование организации дорожного движения становится одной из наиболее важных задач на сегодняшний день.

Проблемы безопасности дорожного движения существуют по всему миру. Наезды на пешеходов - самый распространенный вид дорожных происшествий. В связи со сложившейся ситуацией в стране и мире существует острая необходимость в разработке системы повышения уровня безопасности на дороге. Такая система будет рассматриваться в данной статье - система мониторинга транспортных потоков.

Данная система будет автоматически собирать обезличенную информацию от участников дорожного движения (водители, пешеходы) с целью анализа этой информации для определения и информирования участников дорожного движения о потенциально "опасных" перекрестках города. На ряду с основной функцией системы, она позволит собирать данные для анализа улично-дорожной сети города, используя модель Германа-Пригожина.

Разрабатываемая система будет иметь клиент-серверную архитектуру. Таким образом данные получаемые от клиентов будут передаваться на серверную часть для дальнейшего хранения, а так же обработки и анализа этих данных.

Клиентское приложение будет представлять из себя Android приложение. Данное приложение будет иметь два режима работы: режим "Водитель" и режим "пешеход".

В режиме работы "Водитель" приложение будет собирать и отправлять на сервер GPS треки. Совместно с этим, приложение будет показывать тепловую карту, на которой отображаются опасные участки дорожной сети города (рисунок 1). Опасными участками будут считаться участки с большой интенсивностью пешеходов. При приближении к такому участку водитель будет оповещен ненавязчивым звуковым сигналом.



**Рисунок 1 – Тепловая карта**

В режиме работы "Пешеход" приложение также будет собирать и отправлять на сервер GPS треки. Для пешеходов также будет предусмотрено отображение тепловой карты опасных участков дороги - перекрестков с высокой интенсивностью движения транспортных средств.

GPS треки, которые будут собираться с пользователей, будут использоваться для вычисления опасных участков дороги. В дополнение к этому, GPS тре-



ки водителей будут использоваться для оценки улично-дорожной сети города по модели Германа-Пригожина.

Серверная часть системы будет представлять собой приложение с базой данных в которой будут храниться данные, собранные клиентскими приложениями с водителей либо пешеходов. Серверное приложение будет иметь возможность отображать информацию пользователям в виде карты, на которой будут нанесены все опасные участки дороги как с точки зрения пешеходов, так и с точки зрения водителей с возможностью переключения режима.

Модель Германа-Пригожина представляет из себя двухжиткостную модель транспортного потока, которая позволяет количественно измерить чувствительность условий движения к повышению загрузки сети. Данная модель представляет все транспортные средства в сети в виде двух потоков: движущиеся (RT) и остановившиеся (ST). Остановившиеся транспортные средства не включают в себя припаркованные.

Модель Германа-Пригожина описывается линейной регрессией между движущимися (RT) и общим количеством (TT) транспортных средств, которую строят по данным натуральных наблюдений, а  $\eta$  и  $T_{\min}$  считаются функциями от подгоночных параметров модели ( $k$  и  $b$ ):

$$\ln(RT) = k \cdot \ln(TT) + b$$

При этом  $\eta = k/(1-k)$ ,  $T_{\min} = \exp(b \cdot (\eta + 1))$ ,

где  $\eta$  – индикатор Германа-Пригожина, который показывает чувствительность скорости сообщения к увеличению загрузки участка улично-дорожной сети,

$T_{\min}$  – среднее минимальное время поездки.

Таким образом для оценки УДС необходимо собрать данные с пользователей системы, обработать их - рассчитать время простоя и время движения транспортных средств, решить линейную регрессию и найти параметры  $T_{\min}$  и  $\eta$ . Далее можно составить таблицу для сравнения различных по организации участков дорог.

Такие исследования могут проводиться регулярно, для отслеживания состояния дорог в динамике. В дальнейшем результаты могут использоваться полномочными органами для выявления неудовлетворительных участков дорог.

Описанная в данной статье система призвана улучшить ситуацию на дорогах города. Она проста в использовании и не требует особых навыков от пользователя. Главная функция системы - это предупредить участников дорожного движения об опасности на дороге.

УДК 004.514.62

*Латий О.О., БрГТУ, г. Брест*

*Научный руководитель: Костюк Д.А., к.т.н., доцент*

## **ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ МОНИТОРИНГУ КРОВЯНОГО ДАВЛЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ЭВМ**

Кровяное давление (превышение давления жидкости в кровеносной системе над атмосферным) является одним из главных показателей здоровья человека, а также одним из индикаторов его психологического состояния (например, стресса). Традиционные средства измерения давления предполагают участие в процессе измерения специально обученного персонала. В то же

время современное развитие микропроцессорной техники позволяют легко автоматизировать подобные процедуры. Однако массовые изделия для измерения давления, присутствующие на рынке, во многом повторяют конструкцию традиционных тонометров со всеми присущими им недостатками – в первую очередь крайне ограниченной пригодностью для длительного непрерывного снятия показателей.

В данной работе представлен анализ методов измерения давления с целью выбора наиболее подходящего для реализации в микроконтроллерном устройстве непрерывного мониторинга.

Наиболее часто под кровяным давлением подразумевают артериальное давление (АД) – давление, которое создает циркулирующая кровь на стенки кровеносных сосудов (артерий). Во время каждого сердечного сокращения артериальное давление колеблется от максимального (систолического) до минимального (диастолического). Среднее АД (через накачивание сердца и сопротивление потока в кровеносных сосудах) уменьшается в пределах одного цикла, поскольку циркулирующая кровь движется от сердца через артерии. Кровяное давление падает быстрее тогда, когда кровь проходит через мелкие артерии и артериолы, и продолжает уменьшаться, когда кровь проходит через капилляры и обратно к сердцу через вены. На величину давления также могут влиять наличие клапанов в венах, ритмические сокращения скелетных мышц, а также гравитация.

Методы измерения кровяного давления по принципу регистрации можно разделить на инвазивные методы (прямые) и неинвазивные.

Инвазивный (прямой) метод подразумевает измерение артериального давления, которое осуществляется путем размещения иглы в артерии. Катетер подключается к стерильной, заполненной жидкостью системе, основу которой составляет датчик давления. Достоинства метода – высокая точность и возможность непрерывного измерения, т.е. регистрация величины АД при каждом ударе сердца. Однако за пациентами, которым осуществляют инвазивный артериальный мониторинг, необходим строгий врачебный контроль, а также этот метод требует преодоления определенного психологического барьера у пациента, что безусловно ограничивает его сферу применения.

Неинвазивные методы измерения (например, аускультаторный и осциллометрический), являются гораздо более простыми и быстрыми, требуют меньше опыта и практически не приводят к осложнениям, менее неприятны и менее болезненны для пациента. Однако точность неинвазивных методов несколько ниже, и при осуществлении многочисленных измерений могут быть различия в показателях. Однако неинвазивные методы измерения используются чаще для рутинных исследований и мониторинга.

При аускультаторном методе (метод Короткова) используется стетоскоп, манометр и надувной манжет (Рива-Роччи), который закрепляют вокруг предплечья примерно на той же высоте, где расположено сердце. Процедура измерения данным методом включает следующие шаги:

- манжет подходящего размера устанавливается ровно и плотно закрепляется вокруг предплечья;

- далее резиновая груша сжимается вручную несколько раз (до тех пор, пока поток крови в сосудах не будет почти полностью заблокирован) и манжет надувается;

- прослушивая через стетоскоп плечевую артерию в локте, человек, который измеряет давление, начинает медленно выпускать давление в манжете;

– как только кровь снова начинает течь в артериях, то этот турбулентный поток создает своеобразный «свист» или стук (первый звук Короткова). Давление, при котором этот звук человек слышит впервые – это систолическое артериальное давление;

– после этого необходимо продолжить выпускать давление в манжете до тех пор, пока звук не исчезнет, и именно тогда определяется значение диастолического АД.

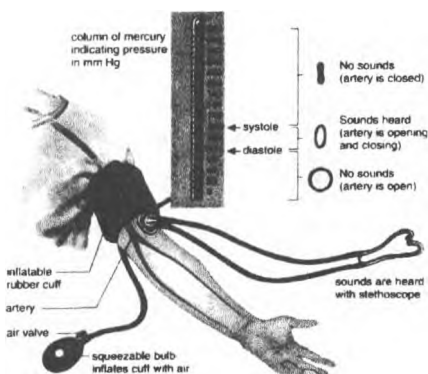
Осциллометрический метод включает в себя наблюдение за колебаниями давления в манжете сфигмоманометра, вызванных колебаниями кровотока, т.е. импульсом крови. Электронная версия этого метода иногда используется при долгосрочных измерениях и в общей практике. Сфигмоманометрический манжет похож на тот, который применяется при аускультаторном методе, и содержит электронный датчик давления, с помощью которого можно оценить колебания давления в манжете. Датчик давления должен периодически калиброваться для поддержки точности.

Измерение давления с помощью осциллометрического метода менее критично к тренированности оператора, проводящего измерение, чем использование аускультаторного метода, а потому может применяться даже неквалифицированным персоналом, а также использоваться для автоматизированного мониторинга артериального давления пациентов в домашних условиях.

Процедура измерения артериального давления при осциллометрическом методе:

– манжет, сначала накачивается для измерения систолического артериального давления;

– затем давление уменьшается для измерения нижнего уровня диастолического давления (период измерения давления составляет примерно 30 секунд).



**Рисунок 1 – Традиционный подход к измерению давления**

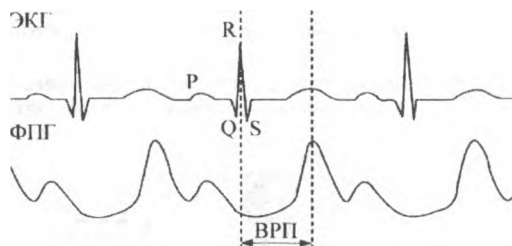
Следует отметить, что вследствие родства методов Короткова и осциллометрического, значения систолического и диастолического давления, получаемые этими методами, тесно коррелируют между собой, однако нередко отличаются от значений, полученных прямым (инвазивным) методом. Глубинная причина этого явления заключается в том, что инвазивный метод измерения

ет истинное, так называемое боковое артериальное давление, которое кровь оказывает на стенки сосудов. При осциллометрическом методе и методе Короткова измеряется сумма бокового артериального давления и давления гидродинамического удара потока крови. Оба метода используют манжету Рива-Роччи (рис. 1).

Использование манжеты сказывается на комфорте пациента. Также для данных методов характерна невозможность отслеживания мгновенных значений изменения давления и невозможность продолжительного измерения давления, т.к. пауза между измерениями должна быть не менее 1-2 минут.

Альтернативой им являются метод определения времени распространения пульса (ВРП) и скорости распространения пульсовой волны (СРПВ).

ВРП обычно определяется как время, затрачиваемое кровью для преодоления расстояния от сердца, с момента ее выброса, до какой-либо точки (обычно пальца или мочки уха). ВРП имеет некоторое количество достоинств по сравнению с традиционными методами, но самым главным преимуществом является отсутствие манжеты при проведении измерений. Для определения двух временных точек должны совместно использоваться такие физиологические показатели, как кривая ЭКГ (R-пик, т.е. момент сокращения желудочков сердца) и кривая фотоплетизмографа. Из рисунка 2 видно, что ВРП – это временной интервал от R-пика на ЭКГ до пика на ФПГ-сигнале. ВРП подсчитывается с каждым ударом сердца.



*Рисунок 2 – Принцип определения ВРП*

Обязательным является условие правильной синхронизации ЭКГ и ФПГ. Существуют некоторые ФПГ датчики, которые имеют встроенные фильтры, отличающиеся от ЭКГ-фильтров. Эти фильтры часто бывают адаптивными и производят искусственный фазовый сдвиг между ЭКГ и ФПГ. Это изменяет длину ВРП, что приводит к неправильным расчетам.

Интервал ВРП соответствует времени прохождения возбуждения по предсердиям и атриовентрикулярному узлу до миокарда желудочков. Интервал, обозначенный на рис. 2 как PQ, зависит от возраста; массы тела; частоты сердечного ритма. Значение данной задержки – незначительное по сравнению с фактическим ВРП.

Учитывая особенности реализации метода определения ВРП (от пика ЭКГ), подход является трудным для создания носимого программно-аппаратного комплекса мониторинга. Более перспективным с конструктивной точки зрения можно признать подход к оценке ВРП, основанный на вычислении интервала между разными точками регистрации ФПГ-сигнала (например парой точек запястья – палец, лежащих на одном и том же артериальном пути).

Зависимость между кровяным давлением и ВРП впервые была упомянута в 2000 году У. Ченом [1]. Чен отнес кровяное давление к параметру, известному как скорость распространения пульсовой волны (СРПВ). СРПВ зависит от таких параметров артерии, как эластичность  $E$ , толщина стенок артерии  $t$ , диаметр артерии  $d$  и плотность крови  $\rho$ . Данная зависимость определяется соотношением Моенса - Кортвейга:

$$СРПВ = \sqrt{\frac{gtE}{\rho d}},$$

где  $g$  – гравитационная постоянная.

Допущением в данном уравнении является неизменность за короткий промежуток времени эластичности, толщины стенок артерии, диаметра артерии. ВРП можно сопоставить с СРПВ следующим образом:

$$СРПВ = \frac{K}{ВРП},$$

где  $K$  – пропорциональный коэффициент, оценивающий расстояние между двумя частями артерии. В результате ряда подстановок кровяное давление можно определить как:

$$P = P_0 - \frac{2}{\gamma ВРП_n} \Delta ВРП$$

где  $P_0$  – основной уровень кровяного давления,  $ВРП_n$  – значение ВРП, соответствующее давлению  $P_0$ ,  $\Delta ВРП$  – изменение ВРП.



**Рисунок 3 – Места крепления ФПГ-датчиков на запястье и пальце, а также ФПГ-сигналы с запястья и пальца**

Таким образом, скорость распространения пульсовой волны можно определить, как

$$СРПВ = \frac{L_{ц}}{t_{зап}},$$

где  $L_{ц}$  – расстояние от датчика на запястье до датчика на пальце, а  $t_{зап}$  – время задержки пульса.

Учитывая все вышесказанное, для реализации устройства, решающего задачу определения изменения давления, метод СРПВ можно признать безальтернативным вариантом. Для устрнойства мониторинга потребуются два датчика пульса с фотоплетизмографическим принципом действия [2, 3]. Зная время задержки между пиками на графиках пульса или скорость нарастания пульса, можно оценить изменение кровяного давления.

#### **Список цитированных источников**

1. Chen W. Medical and Biological Engineering and Computing, vol. 38, 2000. – pp. 569-574.
2. Костюк Д.А., Латий О.О. Оценка состояния пользователя с помощью платформы Arduino // Информационные технологии и системы 2014 (ИТС 2014): материалы международной научной конференции. Минск, БГУИР, 29 октября 2014 г. – С. 57–58.
3. Латий О.О., Шитиков А.В., Костюк Д.А. Средства измерения нагрузки, воздействующей на пользователей программного продукта, с помощью платформы Arduino // Современные информационные технологии в образовании и научных исследованиях (СИТОНИ-2013). Материалы IV-й международной НТК студентов и молодых ученых. Донецк: ДонНТУ, 2013. – С. 56–63.

УДК 004.514.62

*Латий О.О., БрГТУ, г. Брест*

*Научный руководитель: Костюк Д.А., к.т.н., доцент*

### **УСТРОЙСТВО КОМПЬЮТЕРНОГО МОНИТОРИНГА ПУЛЬСА ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO**

Пульс человека - это толчкообразные колебания стенок сосудов, вызванные движением крови, выбрасываемой сердцем. Ритмично выбрасываемая в аорту левым желудочком кровь создает колебания внутри артериального русла и приводит к эластичному растяжению и спаданию стенок артерий. Является одним из основных и старейших биомаркеров. Свойства пульса определяются его частотой, напряжением, наполнением и ритмом. Частота пульса в норме колеблется от 60 до 80 ударов в минуту, но может варьироваться в широких пределах в зависимости от возраста, пола, температуры тела и окружающей среды, физиологического состояния, а также физического напряжения. Чем интенсивнее мышечная работа, тем чаще пульс. Напряжение пульса определяется силой, которую нужно применить при надавливании на стенки артерий, чтобы прекратить пульсацию. По степени напряжения пульса можно приблизительно судить о величине максимального давления: оно тем выше, чем напряженнее пульс [1].

Наполнение пульса определяется количеством крови, образующей пульсовую волну, и зависит от систолического объема сердца. При хорошем наполнении пульса можно нащупать пальцами высокую пульсовую волну, а при плохом, слабом пульсе, когда пульсовые волны малы, они плохо различимы. Едва ощутимый пульс называется нитевидным.

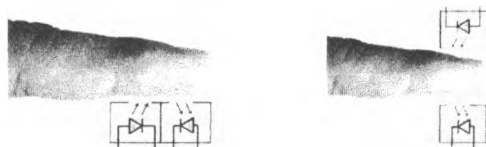
В норме пульсовые волны следуют друг за другом через равные промежутки времени. Ритм определяется деятельностью сердца. У лиц с заболеваниями сердца правильный ритм нарушается, и это называется аритмией.

Наиболее простой и распространенный метод автоматического измерения пульса основан на принципе фотоплетизмографии [2]. Фотоплетизмография – неинвазивный метод непрерывного измерения изменений объема крови, отражающий динамику кровенаполнения сосудов исследуемых органов, части тела, основанного на измерении оптической плотности с помощью источника света и фотодетектора. Поскольку изменение объема крови синхронно с биением сердца, метод может использоваться для расчета частоты сердечных сокращений.

Существует два основных типа фотоплетизмографии: один основан на пропускании света, другой на отражении. В первом случае световой пучок пропускается сквозь часть тела человека (например, через палец или мочку

62

уха), а фотодетектор определяет результирующую интенсивность света, поэтому источник излучения и приемник располагаются напротив друг друга. Во втором случае источник света и фотоприемник располагаются на одной стороне, и информация о пульсе несет отраженный сигнал (см. рис. 1). При любом методе измерений в интенсивности света, отраженного от объекта или прошедшего через часть тела, будут обнаружены флуктуации в соответствии с пульсирующим потоком крови, вызванных биением сердца.

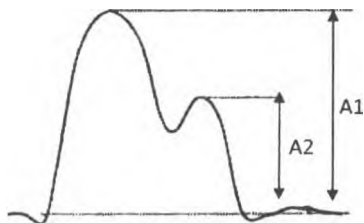


**Рисунок 1 – Схематическое изображение датчиков для получения информации о пульсе от пальца человека**

На рисунке 1 схематически изображена конструкция соответствующего датчика. ИК-диод используется для освещения пальца субъекта. В зависимости от объема крови в пальце поглощается больше или меньше света. Следовательно, меняется интенсивность отраженного света. Графическое представление зависимости изменений сигнала во времени и есть сигнал фотоплетизмографии.

Исследуемая концевая фаланга пальца кисти или стопы просвечивается обычным некогерентным светом, который после рассеивания в ней поступает на фотоприемник. Интенсивность света, рассеянного участком исследуемой ткани, отражает количество содержащейся в ней крови в реальный отрезок времени, регистрируя количественную и качественную динамику последовательных изменений объема крови в изучаемом участке ткани в период каждого сердечного цикла на протяжении всего процесса измерений.

Фотоплетизмограмма имеет несколько составляющих: она регистрирует волны первого, второго, третьего и четвертого порядка. Волны второго, третьего и четвертого порядка относятся к медленным колебаниям (их можно назвать постоянной составляющей). Волны 1-го порядка относятся к быстрым колебаниям и соотносятся с пульсом (можно назвать переменной составляющей). Они отражают движение объема крови в измеряемой точке во время систолы и диастолы и могут использоваться в качестве источника информации о пульсе.

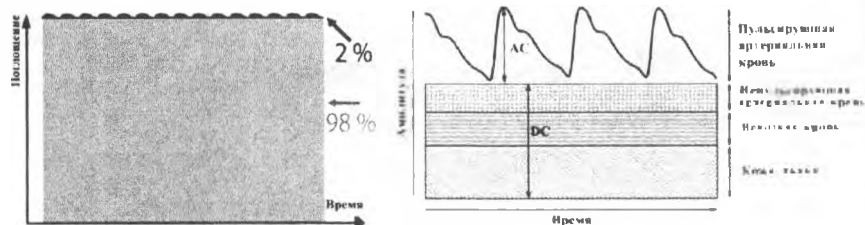


**Рисунок 2 – Вид пульсовой волны**

Пульсовая волна (рис. 2) состоит из двух компонентов – анакротической и дикротической фазы. Первый пик пульсовой волны, соответствующий анакротическому периоду ( $A_1$ ), образуется в период систолы. Амплитудное значение

анакротической фазы носит также название амплитуды пульсовой волны и соответствует ударному объему крови при сердечной выбросе, предоставляя таким образом косвенные сведения о степени инотропного эффекта.

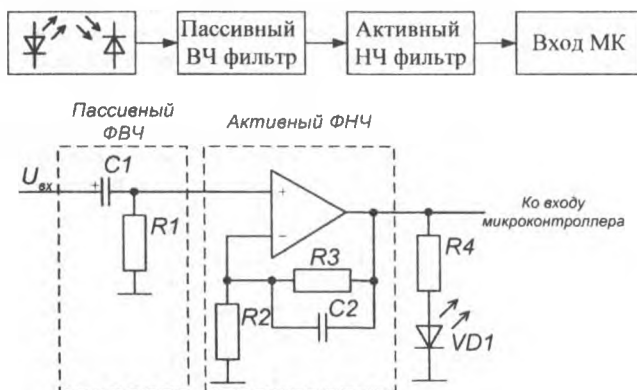
Второй пик пульсовой волны, соответствующий диастолическому периоду пульсовой волны (A2). Диастолическая фаза предоставляет информацию о тоне сосудов.



**Рисунок 3 – Вид необработанного ФПГ-сигнала (слева), а также вид и составляющие обработанного ФПГ-сигнала (справа)**

Вершина пульсовой волны соответствует наибольшему объему крови, а ее противоположная часть — наименьшему объему крови в исследуемом участке ткани. Характер пульсовой волны зависит от эластичности сосудистой стенки, частоты пульса, объема исследуемого участка ткани, ширины просвета сосудов.

Регистрация пульса при таком исходном сигнале, как изображенный на рисунке 3 слева, является трудной задачей: полезный сигнал представляет собой пульсовую волну, в свою очередь составляющую только 2% от общей амплитуды. Поэтому, для получения обработанного ФПГ-сигнала, представленного на рисунке 3 справа, пользуются схемами фильтрации и усиления (см. рисунок 4).



**Рисунок 4 – Структурная и электрическая принципиальная схемы измерения пульса**

В качестве основы для микроконтроллерного измерительного модуля, выполняющего мониторинг пульса, нами выбрана популярная платформа Arduino, распространяемая с полным комплектом документации и благодаря открытой архитектуре имеющая широкий спектр опубликованных наработок [2]. Плата



Arduino включает микроконтроллер ATmega, а также стандартные элементы обвязки для программирования и интеграции с другими блоками. Поскольку в микроконтроллере предварительно прошит загрузчик, программирование и обмен данными с ПК выполняется через USB-обертку последовательного интерфейса.

Для реализации оптимальной схемы потребуется оптопара, элементы фильтрации и усиления, показанные на рисунке 4. В качестве оптопары используется пара ИК-диод – фотодиод. Длина волны ИК-излучения обеспечивает наиболее высокий уровень модуляции сигнала из-за особенностей поглощения света гемоглобином крови [2].

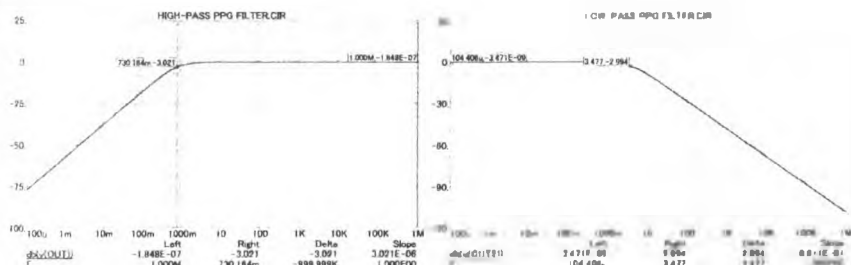
Электрическую схему измерения пульса условно можно разделить на 2 части. Первая часть включает в себя инфракрасный диод и фотодиод. С выхода фотодиода снимается периодический сигнал, связанный с изменением интенсивности отраженного ИК-излучения. Вторая часть обеспечивает этап преобразования сигнала – его фильтрацию и усиление. Здесь происходит подавление достаточно больших медленных волн (постоянной составляющей) и повышение слабых быстрых волн (переменной составляющей), которые несут информацию о пульсе (рисунок 4).

При проектировании полосового фильтра будем считать, что частота пульса изменяется в пределах от 40 до 200 ударов в минуту ( $f_{n\text{min}} = 40 / 60 = 0.7 \text{ Гц}$ ,  $f_{n\text{max}} = 200 / 60 = 3.3 \text{ Гц}$ ). На схеме (рис. 4) видно, что сигнал с ИК-сенсора сначала проходит через пассивный фильтр верхних частот (ФВЧ), чтобы избавиться от постоянной составляющей. Частота среза фильтра ( $f_c$ ) равна 0.7 Гц. Далее сигнал проходит через активный фильтр нижних частот (ФНЧ), выполненный на операционном усилителе. Частота среза ФНЧ составляет 3.3 Гц. Такое решение позволяет устранить нежелательный сигнал постоянной составляющей и высокочастотные шумы, в том числе, наводку сети переменного тока 50 Гц, и усилить нужный сигнал, несущий информацию о пульсе.

Рассчитаем номиналы RC-элементов для фильтра верхних частот таким образом, чтобы частота среза равнялась  $f_{\text{среза}} = 0.7 \text{ Гц}$ . Пусть сопротивление R1 будет равно 47кОм, тогда емкость конденсатора C1:

$$C1 = \frac{1}{2\pi \cdot R1 \cdot f_{\text{среза}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 47 \cdot 10^3 \cdot 0.7} = 4.7 \text{ мкФ}$$

Результат моделирования ФВЧ представлен в левой части рис 5 (как можно видеть, частота среза составляет 730.184мГц, что приблизительно равно требуемому параметру).



**Рисунок 5 – Амплитудно-частотная характеристика ФВЧ (слева) и ФНЧ (справа)**

Рассчитаем номиналы RC-элементов для фильтра нижних частот таким образом, чтобы частота среза равнялась  $f_{\text{среза}} = 3.3 \text{ Гц}$ . Пусть сопротивление R3 будет равно 680кОм, тогда емкость конденсатора C2:

$$C2 = \frac{1}{2\pi R3 f_{\text{среза}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 430 \cdot 10^3 \cdot 3.3} = 100 \text{ нФ}$$

Правая часть рисунка 5 иллюстрирует результат моделирования рассчитанного ФНЧ. Как можно заметить, частота среза в этом случае составляет 3.477 Гц, что также удовлетворяет поставленным условиям.

После фильтрации и усиления аналоговый сигнал поступает на 10-битный АЦП, входящий в состав используемого микроконтроллера. В качестве периода получения данных в микроконтроллере выбрано значение 2 мс. Задачей программы, выполняемой на микроконтроллере, является поиск пиков и определение временного интервала между ними, с последующим пересчетом в количество ударов в минуту. Вычисленное значение передается по шине USB принимающей программе, запущенной на ПК, которая в свою очередь осуществляет усреднение, необходимое для исключения ошибок измерений, а также визуализацию данных.

#### Список цитированных источников

1. Martini F., Bartholomew E. *Essentials of Anatomy & Physiology*. / San Francisco: Benjamin Cummings, 2003. - P. 267

2. Костюк Д.А., Латий О.О. Оценка состояния пользователя с помощью платформы Arduino // Информационные технологии и системы 2014 (ИТС 2014): материалы международной научной конференции. Минск, БГУИР, 29 октября 2014 г. – С. 57–58.

УДК 681.3

*Медведский К.И.*

*Научный руководитель: проф. Муравьев Г.Л.*

### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ, МОДЕЛЕЙ, СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ ОПИСАНИЙ СИСТЕМ

**Введение. Постановка задачи.** В практике инженерной деятельности широко используется моделирование (имитационное, аналитическое), реализуемое на базе описания систем в терминах q-схем, стохастических сетевых моделей (ССМ), сетей массового обслуживания (СМО) [1, 2]. Вместе с тем существует широкий спектр универсальных систем, средств имитационного моделирования, избыточных для решения задач конкретного класса.

Здесь рассматриваются проблемы, связанные с автоматизацией получения модельных спецификаций по формальному описанию систем, то есть кодов имитационных моделей (ИМ) на входных языках систем моделирования. Также проблема автоматической генерации сетевых спецификаций (параметров архитектуры), согласованных с требованиями к их сложности и режиму функционирования, и тестовых спецификаций, включающих эталонные значения характеристик функционирования сети.

Возможные области применения: - имитационное моделирование стохастических сетей, специализация возможностей существующих систем моделирования за счет "обертывания" дружественным интерфейсом. Поддержка тести-

рования разработанных моделей (ИМ). Поддержка контролируемого обучения имитационному моделированию за счет обеспечения наиболее трудоемких технологических этапов, таких как "ручное" получение необходимого числа корректных, несовпадающих вариантов сетевых спецификаций, а также проведение аттестации разработанных моделей - оценка адекватности моделей, требующая наличия соответствующего количества тестовых спецификаций и др.

В качестве математических моделей систем используется класс сетевых моделей – СеМО и расширение СеМО до ССМ, упрощенных в части использования управляющих узлов и включающих ресурсы ограниченной емкости (обслуживающие узлы типа "память").

В качестве системы моделирования выбрана универсальная система GPSS World [2], имеющая бесплатные версии со входным языком GPSS, обеспечивающим полное отображение указанных сетей в процессном стиле.

Общая схема получения спецификаций приведена ниже и включает следующие процедуры:

Получение спецификаций каркасов (структур) сетей.

Генерация сетевых спецификаций в терминах СеМО.

Генерация сетевых спецификаций в терминах ССМ (на базе спецификаций СеМО).

Построение html, xml описаний сетевых спецификаций, включая "человеко-читаемые".

Генерация модельных спецификаций сетей (GPSS-кодов).

Построение тестовых спецификаций.

Хранение спецификаций.

**Генерация сетевых спецификаций.** Используемый аппарат: – теория графов, комбинаторные методы для порождения каркасов сетей; – модели массового обслуживания для расчета параметров сетей, вероятностные методы их доопределения; – объектно-ориентированный подход для реализации средств, xml-, html-форматы для организации хранения и отображения спецификаций.

Требования к сетевым спецификациям и средствам их получения: – управляемость сложностью и режимом функционирования генерируемых сетей (архитектур); уникальность, не повторяемость спецификаций; полнота описаний как достаточность данных для моделирования, тестирования сетей; документированность.

Укрупненный алгоритм получения сетевых спецификаций приведен ниже.

Определить ограничения на сложность сети (А)

Задать параметры режима функционирования сети (В)

ГЕНЕРИРОВАТЬ-КАРКАСЫ-СТРУКТУР сетей (С), удовлетворяющие ограничениям А

ПРОВЕРИТЬ-КОРРЕКТНОСТЬ структур сетей С

Сохранить описания корректных структур (D)

Разыграть количество потоков (Q)

Разыграть количество обслуживающих узлов (типа "устройство") и их каналности

ЦИКЛ-ПОКА не сгенерирована сетевая спецификация для каждой структуры из D

Распределить вероятностные узлы в соответствии с А, Q

Сформировать потоковые матрицы вероятностей переходов (Р)

Рассчитать интенсивности сетевых и узловых потоков

Рассчитать трудоемкости обслуживания в узлах, удовлетворяющие ограничениям В

Декомпонировать узловые параметры обслуживания (трудоемкости) по потокам Q

Разыграть законы распределения поступления и обслуживания заявок

Доопределить параметры законов распределения

КОНЕЦ-ЦИКЛА

Расставить сетевые и узловые узлы-памяти в соответствии с ограничениями А

ИСКАТЬ-СЕТЕВЫЕ-ФРАГМЕНТЫ (Е) для расстановки узлов-памятей

ПРОВЕРИТЬ-КОРРЕКТНОСТЬ сетевых фрагментов Е и сохранить корректные (F)

Разместить узлы-памяти в соответствии с ограничениями В и множеством фрагментов F

Корректировать сетевые спецификации (параметры сетей, матрицы P)

Сохранить спецификации в html, xml-форматах

Здесь в основу генерации СеМО [2, 3] положен аналитико-рандомизированный подход. Он обеспечивает: – получение каркасов сетей (КС) заданной сложности на базе рекурсивного алгоритма перебора; – “оснащение” КС вероятностными узлами; - отсеивание некорректных КС; – аналитическое до определение параметров КС, декомпозицию параметров с учетом неоднородности сети с последующим вероятностным до определением недостающих параметров.

В основу генерации ССМ положены алгоритмы поиска фрагментов сети с последующей расстановкой емкостных узлов и вероятностным до определением недостающих параметров ССМ. Для этого рассмотрены свойства фрагментов, позволяющие проводить их валидацию, а также при генерации заменить полный перебор направленным, выполняемым с учетом заданных ограничений на базе анализа матриц переходов  $\{P^{(q)}\}$ .

Соответственно введены определения, используемые при поиске фрагментов – кандидатов на размещение емкостных ресурсов. Пусть сгенерирована СеМО, структура которой описывается множеством узлов  $V = \{b_i, i = \overline{1, N}\}$  и потоков Q. Вероятностные матрицы потоков  $\{P^{(q)}\}$  определяют для каждого из них множество дуг-переходов  $\{D^{(q)} = \{d^{(q)}_{i,j}\} | q = \overline{1, Q}\}$ . Поточковый фрагмент это часть сети, составленная подмножеством узлов  $V_1^{(q)}$  и подмножеством дуг q-го потока  $D_r^{(q)} = D_{11}^{(q)} \cup D_{12}^{(q)} \cup D_{13}^{(q)}$ . Здесь соответственно представлены множества дуг  $d^{(q)}_{i,j}$ , ведущих во фрагмент ( $b_j \in V_r^{(q)}; b_i \in V_1^{(q)}$ ), внутренние дуги ( $b_i \in V_1^{(q)}; b_j \in V_r^{(q)}$ ), выходные, ведущие за пределы фрагмента. Тогда для корректного произвольного потокового фрагмента в сети не должно быть других дуг  $d_{i,j} \notin D_r^{(q)}$ , не принадлежащих фрагменту и ведущих в него или из него, т.е. входных-выходных по определению. Корректный произвольный сетевой фрагмент это потоковый, одинаковый для всех потоков сети. Простой корректный потоковый фрагмент – такой произвольный, где  $\|D_{11}^{(q)}\| = \|D_{13}^{(q)}\| = 1$ , т.е. с единственной дугой-входом и дугой-выходом. Особенность фрагмента – внутренние дуги обеспечивают достижимость любого узла фрагмента (то есть существуют равновероятностные пути, позволяющие заявке, попавшей во фрагмент, посетить любой узел до выхода из фрагмента).

Для поддержки функциональности указанных процедур разработана иерархия классов C++ [4], упрощенная UML-схема которой приведена на рисунке 1 ниже.

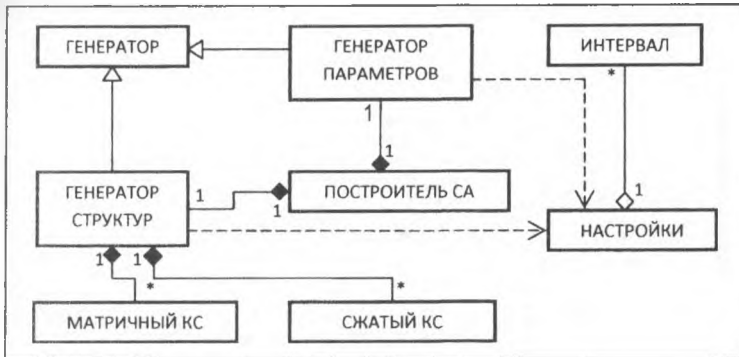


Рисунок 1 - Схема UML-иерархии генерации сетевых спецификаций

**Генерация модельных и тестовых спецификаций** Используемый аппарат: методы имитационного моделирования дискретных систем, теории массового обслуживания; объектно-ориентированный подход, методы каркасного программирования, принципы динамического полиморфизма для поддержки функциональности средств.

Базовые требования к спецификациям и средствам их получения: – согласованность по форматам с источниками формальных сетевых спецификаций систем; – полнота, структурированность, читаемость GPSS-кодов; – обеспечение управления сбором узловой, потоковой и системной статистик; – поддержка базового класса типов узлов, законов распределений параметров сетей.

Укрупненный алгоритм получения модельной спецификации приведен ниже.

Читать сетевую спецификацию из БД спецификаций

Конвертировать спецификацию в объектную модель (ОМ)

Инициализировать служебные структуры (описания имен, точек сбора статистики и др.)

ГЕНЕРИРОВАТЬ-КОД управления сетевой статистикой

ЦИКЛ-ПОКА не обработаны все потоковые спецификации Q

ГЕНЕРИРОВАТЬ-КОД управления потоковой статистикой

ЦИКЛ-ПОКА не просмотрены все потоковые узлы

ГЕНЕРИРОВАТЬ-КОД обслуживающего узла

ГЕНЕРИРОВАТЬ-КОД управления узловой статистики

ГЕНЕРИРОВАТЬ-КОД маршрутных узлов

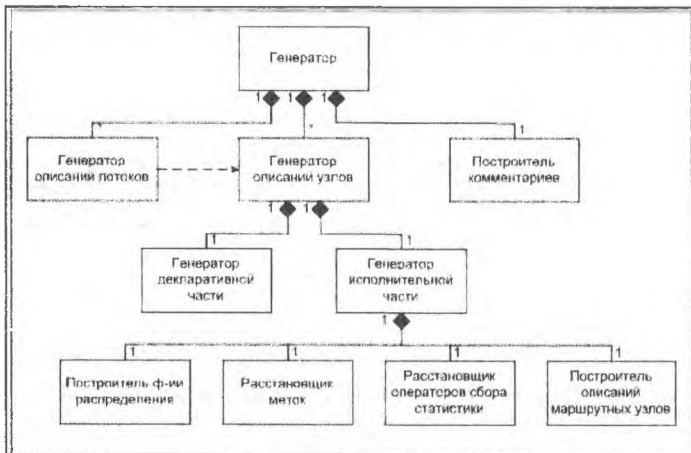
КОНЕЦ-ЦИКЛА

КОНЕЦ-ЦИКЛА

Сохранить модельные спецификации

Работа алгоритма базируется на специально разработанной объектной модели (ОМ), обеспечивающей как генерацию кодов так и функционирование дружественного интерфейса, позволяющего пользователю при работе в диалоговом режиме вносить коррективы в параметры сети, оперативно управлять сбором статистики. Генерация выполняется с использованием разработанных правил именования и модельного отображения элементов сети. При расстановке маршрутных узлов минимизируется число переходов.

Для поддержки функциональности указанных процедур разработана иерархия классов C++ [4], упрощенная UML-схема которой приведена на рисунке 2 ниже.



**Рисунок 2 - Схема UML-иерархии генерации модельных спецификаций**

**Заключение.** В работе обоснован подход к автоматизации построения сетевых спецификаций систем, включая модельные, удовлетворяющих пользовательским требованиям, заданным ограничениям. Разработаны макеты систем. Генератор GPSS-моделей реализован в двух вариантах: консольном для использования совместно с модулем генерации сетевых спецификаций для получения тестовых спецификаций, поддержки тестирования моделей, процессов обучения моделированию и в диалоговом варианте для автономного применения в качестве инструмента моделирования сетей.

Макетирование системы проводилось в объектно-ориентированной парадигме [4] средствами языка C++. Для поддержки вычислений использована библиотека линейной алгебры uBLAS (из собрания библиотек Boost), STL. При реализации генераторов отчетов, связанной с производством html-документов, экспортом, загрузкой xml-документов (в базе данных), а также для поддержки графического интерфейса был использован кросс-платформенный инструментариий QT.

Полученные результаты составляют основу для создания полнофункциональных систем авто генерации сетевых спецификаций и результативных имитационных моделей по их сетевым спецификациям.

#### Список цитированных источников

1. Ивницкий, В.А. Теория сетей массового обслуживания / В.А. Ивницкий. – М., Физико-математическая литература, 2004. – 772 с.
2. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: КОРОНА, 2004. – 320 с.
3. Муравьев, Г.Л. Автоматизация получения тестовых описаний систем для обучения моделированию / Г.Л. Муравьев, А.Н. Никонюк // Инновационные технологии обучения физико-математическим дисциплинам: материалы III междунар. научно-практ. конф., Мозырь, 2011. – С. 85-86.
4. Труб, И.И. Объектно-ориентированное моделирование на C++ / И.И. Труб. – СПб.: Питер, 2006. – 411 с.

## ФОРМАТЫ СПЕЦИФИКАЦИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ GPSS-КОДОВ

Для системы моделирования GPSS World с одноименным входным языком в [1] описаны алгоритмы [2, 3] автоматического получения GPSS-кодов – имитационных моделей (ИМ) систем – по их формальным описаниям в терминах стохастических сетевых моделей [4, 5]. В процессе исполнения алгоритмы последовательно трансформируют исходные спецификации в ряд промежуточных и генерируют конечную – модельную GPSS-спецификацию. При этом используются специально выбранные правила формирования спецификаций, форматы их представления и хранения (в том числе правила и таблицы отображения элементов сетевых спецификаций в GPSS-коды, каркасы модельных спецификаций и т.п.), обеспечивающие требуемую эффективность и гибкость преобразований.

Соответственно в работе представлены форматы ряда спецификаций. Это: – входные сетевые спецификации; – внутренние (системные) спецификации; – выходные спецификации и др.

Входные сетевые спецификации отображают математические описания структуры и процессов, происходящих в сети. При использовании алгоритмов для построения тестовых спецификаций они получают автоматически из системы генерации сетевых спецификаций [5]. В этом случае применяется формализованное описание параметров сети в xml-формате, согласованное с процедурами автоматической генерации спецификаций, и формализованное описание параметров сети в html-формате, согласованное с отчетными документами.

Системные спецификации включают спецификацию сети в формате объектной модели, реализуемой набором классов и обеспечивающей внутреннее структурированное хранение описаний, ориентированное на обеспечение эффективности алгоритмов генерации моделей, поддержку возможностей оперативного управления сбором статистики. Другие внутренние описания строятся для конкретных преобразований с добавлением соответствующих служебных данных (описаний ссылок, меток, указывающих переходы; точек сбора узловых, потоковых и системной статистики с указанием места, вида, полноты, структуры данных и т.д.).

Выходные спецификации включают модельные описания (форматы GPSS-кодов) и форматы отчетов. Эти форматы должны обеспечивать полноту, структурированность, читаемость GPSS-кодов и отчетов. Формат модели включает: правила образования структуры текста модели (деклараций и потоковых описаний); правила структурирования описаний потоков, минимизирующие число переходов в модели; правила именования объектов с учетом особенностей сети, наличия подсетей (фрагментов), потоков запросов; правила отображения GPSS-блоков узлов, узлов сбора статистики, узлов управления. При этом схема модели представляется слоями описаний процессов обслуживания потоков заявок. Каждый слой отображает маршрут перемещения одного потока заявок в терминах типизированных обслуживающих, маршрутных и других узлов, согласованных с функциональными возможностями языка GPSS. В качестве объектов именования используются: имена узлов, меток,

точек сбора статистики очередей и использования узлов, в т.ч. отдельными потоками заявок, сетевой статистики, точек сбора статистики для построения законов распределений (частотных таблиц). Формат отчета доопределяет вид стандартного отчета GPSS в соответствии с форматами модели, требованиями к составу, полноте и точности моделируемых характеристик.

Фрагмент xml-спецификации представлен ниже. Базовая часть – потоковая (секция thread), содержащая "линейное" описание квадратной матрицы переходов, описание узлов (для устройств - тип, канальность, закон распределения трудоемкости и т.д.).

```

<queueingNetworks count="1">
  <network threads="2">
    <thread devices="3" P="0,00 1,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,52 0,48 0,00 0,00 0,00
0,00 0,00
    0,77 0,23 0,00 0,25 0,00 0,47 0,28 0,00 0,00 0,00 0,00 1,00 ">
    <generator A="6,957" B="59,297" distribution="uniform"/>
    <device A="3,151" k="1" distribution="exponential" load="0,312"/>
    <device A="4,123" k="1" distribution="exponential" load="0,196"/>
    <device A="1,629" k="1" distribution="exponential" load="0,113"/>
  </thread>

```

Пример соответствующей схемы сети приведен ниже на рисунке 1.

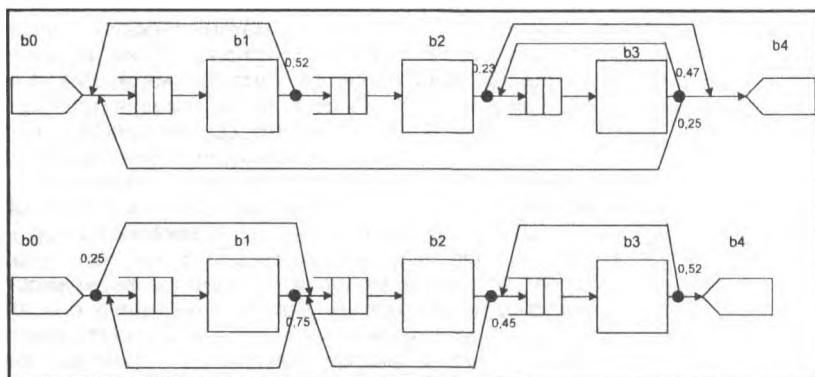


Рисунок 1 – Схема неоднородной сети

Фрагменты правил формирования GPSS-кодов в части образования имен представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 - Правила узловых именовании модельных спецификаций

Объект	Именовании / применение	Примечание
узел i типа 'одноканальное устройство'	bi / SEIZE bi RELEASE bi	характеристики узла будут представлены в секции FACILITY в строке BI
узел i типа 'многоканальное устройство' или узел типа 'память'	bi / bi STORAGE ... ENTER bi LEAVE bi	характеристики узла будут представлены в секции STORAGE в строке BI



Продолжение таблицы 1

Объект	Именованная / применение	Примечание
очередь к узлу (устройству, многоканальному устройству, памяти) i	<b>bi_queue / queue bi_queue depart bi_queue</b>	статистика по очереди к узлу будет представлена в секции <b>QUEUE</b> в строке <b>BI_QUEUE</b>
очередь к узлу (устройству, многоканальному устройству, памяти) i для потока заявок j	<b>bi_j_queue / queue bi_j_queue depart bi_j_queue</b>	статистика по очереди к узлу i потока заявок j будет представлена в секции <b>QUEUE</b> в строке <b>BI J QUEUE</b>
заявки в узле (устройстве, многоканальном устройстве, памяти) i	<b>bi / queue bi depart bi</b>	статистика пребывания в узле будет представлена в секции <b>QUEUE</b> в строке <b>BI</b>
заявки в узле (устройстве, многоканальном устройстве, памяти) i потока j	<b>bi_j / queue bi_j depart bi_j</b>	статистика пребывания в узле i потока заявок j будет представлена в секции <b>QUEUE</b> в строке <b>BI J</b>

Таблица 2 - Правила именования объектов сбора статистики

Объект	Именование / применение	Примечание
стохастическая сеть	<b>net / queue net depart net</b>	сетевые характеристики будут представлены в секции <b>QUEUE</b> в строке <b>NET</b>
поток заявок j	<b>net_j / queue net_j depart net_j</b>	статистика пребывания в сети заявок потока j будет представлена в секции <b>QUEUE</b> в строке <b>NET J</b>
подсеть (фрагмент сети) i	<b>subneti / queue subneti depart subneti</b>	характеристики подсети i будут представлены в секции <b>QUEUE</b> в строке <b>SUBNETI</b>
подсеть (фрагмент сети) i для потока заявок j	<b>subneti_j / queue subneti_j depart subneti_j</b>	статистика пребывания в подсети i заявок потока j представлена в секции <b>QUEUE</b> в строке <b>SUBNETI J</b>
подсеть (сеть, фрагмент, узел, очередь и т.п.), отмеченная "парой" контрольных точек (queue x - depart x)	<b>QTx / QTx QTABLE x, a, b, n</b> , где a, b, n – параметры таблицы	расширенная статистика (частотная таблица) по пребыванию заявок в отмеченном фрагменте представлена строкой <b>QTx</b> секции <b>TABLE</b>
поток заявок j в точке сети x, отмеченной блоком tabulate	<b>dtTpointi_j / INITIAL XSpct_pointi_j,0 dt_pointi VARIABLE AC1 - XSpct_pointi_j dtTable_pointi_jTABLE dt_pointi_j, a, b, n</b>  <b>TABULATE dtTable_pointi_j SAVEVALUE pct_pointi_j,AC1</b>	закон распределения (частотная таблица) интервалов времени между соседними заявками потока j будет представлен в секции <b>TABLE</b> в строке <b>DTT_POINTi_j</b>

Фрагмент автоматически полученного по XML-спецификации GPSS-кода представлен ниже

```
*Thread 1
*****
                                GENERATE      (uniform(42,6.957,59.297))
                                queue         net
label_1                          queue         net_1
                                queue         b1_queue
                                queue         b1_1_queue
                                queue         b1
                                queue         b1_1
                                SEIZE          b1
                                depart        b1_queue
                                depart        b1_1_queue
                                ADVANCE      (exponential(68,0.000,3.151))
                                RELEASE      b1
                                depart        b1
                                depart        b1_1
                                TRANSFER     0.520,,label_1
```

Фрагмент соответствующего GPSS-отчета представлен ниже на рисунке 2

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
B1	156939	0.567	2.724	1	50002	0	0	0	0
B2	65619	0.322	2.836	1	0	0	0	0	0
B3	106488	0.274	1.904	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE. CONT	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
NFT	12	3	50003	0	1.803	27.186	27.186	Г
NFT_2	8	1	27299	0	0.888	24.528	24.528	Г
B1 QUEUE	11	2	156941	65108	0.443	2.127	4.647	Г
B1_2 QUEUE	7	1	82040	45567	0.230	2.118	4.764	Г
F1	11	3	156941	0	1.010	4.851	4.851	Г
B1_2	7	1	82040	Г	0.464	4.447	4.447	Г

**Рисунок 2 – Фрагмент отчета**

Таким образом, представлены сетевые спецификации, обеспечивающие получение текстов GPSS-моделей неоднородных сетей из многоканальных узлов-устройств и емкостных узлов-памятей с произвольным числом прямых и обратных связей. Поддерживаются сервисные узлы для сбора интервальной и точечной статистик (узловой, фрагментарной, потоковой, сетевой).

#### Список цитированных источников

1. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: КОРОНА, 2004. – 320 с.
2. Муравьев, Г.Л. Разработка генератора GPSS-кодов имитационных моделей / Г.Л. Муравьев, К.И. Медведский / Инновационные технологии обучения физико-математическим дисциплинам: материалы 8-й междунар. научно-практ. конф., Мозырь, 2015.
3. Медведский, К.И. Генератор моделей, согласованный с форматом сетевых спецификаций / К.И. Медведский / Новые математические и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы 18 РНК студентов и аспирантов, Гомель, ГГУ им. Ф.Скорины, 2015.

4. Ивницкий, В.А. Теория сетей массового обслуживания / В.А. Ивницкий. – М., Физико-математическая литература, 2004. – 772 с.

5. Муравьев, Г.Л. Автоматизация получения тестовых описаний систем для обучения моделированию / Г.Л. Муравьев, А.Н. Никонюк // Инновационные технологии обучения физико-математическим дисциплинам: материалы III междунар. научно-практ. конф., Мозырь, 2011. – С. 85-86.

УДК 04.896

*Мешко Е.Э.*

*Научный руководитель: доцент. Дунец А.П.*

## ПРОБЛЕМАТИКА ПОСТРОЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ

### Введение

Задачи по мониторингу водоемов являются весьма трудоемким видом деятельности. Выезд на место с комплектом из плавсредства и измерительного оборудования – очень затратное мероприятие. Существующие стационарные посты гидрологического мониторинга собирают весьма ограниченный объем данных. В то же время комплекс проблем, которые требуют внимания, очень широк. Он включает в себя: построение профиля дна водоема для корректировки фарватера, экологический мониторинг, обследование и оценка состояния прудов рыбозаводов и т.п.

Применение мобильных роботов позволяет снизить затраты и ускорить процесс сбора данных если используются несколько роботов, которые функционируют в режиме «рой роботов».

Решение этих задач требует движения плавсредства с измерительной аппаратурой по сложной траектории с определенным шагом.

В данной статье рассмотрим проблематику связанную непосредственно с движением по траектории и построении этой траектории на картографическом плане водоема.

### Описание проблематики

В ходе изучения данной задачи были выделены следующие проблемы:

- Построение оптимального пути для движения по траектории с определенными параметрами
- Перестроение маршрута следования в зависимости от находящихся на пути препятствий

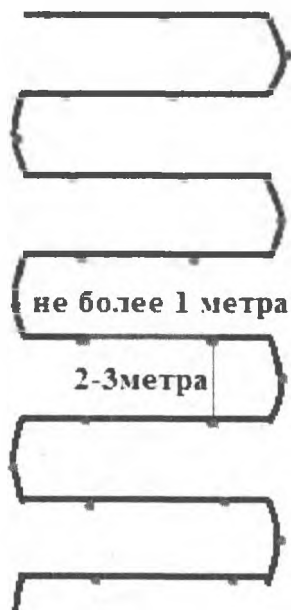
Для анализа водоема, кораблю необходимо двигаться по определенной траектории, данная траектория называется промерными галсами.

Галс это отрезок пути, который проходит судно от одного поворота до другого при лавировании.

На этапе проектирования для на несения промерных галсов на карту водоема для постройки пути движение будут применяться точки. Расстояние между точками для правильного измерения и анализа водоема должны находиться на определенном расстоянии, это обусловлено тем, что

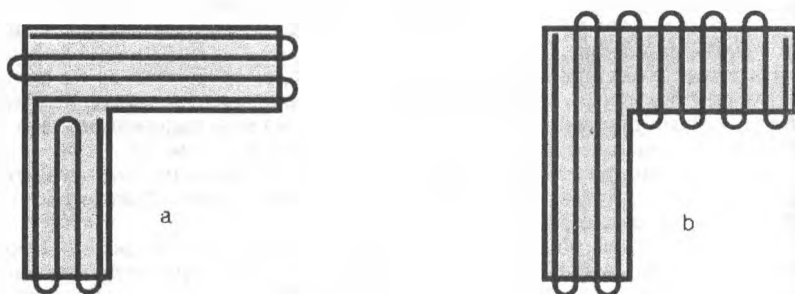
при большем расстоянии между точками мы получим не точные значения. Расстояние между точками на прямой траектории должно быть не более одного метра, между галсами не более двух, трех.

Съемка профиля начинается с выведения судна на исходный съемочный галс. Через равные промежутки времени подается команда на одновременное измерение плановых координат и глубин. Дойдя до границы участка съемки, судно поворачивает на  $180^\circ$  и ложится на обратный курс смежного галса. Таким образом съемкой покрывается вся площадь участка.



*Рисунок 1 – Особенность галсов при движении по точкам*

Важной деталью является так же построение оптимальной траектории при движении робота по промерным галсам. Оптимальной траекторией является такая траектория при движении, по которой катер делает минимальное количество поворотов. Это обусловлено тем, что при каждом повороте робот будет сбрасывать скорость, что сильно будет отражаться на времени анализа всего водоема. В связи с этим нам необходимо строить такую траекторию движения при которой количество поворотов будет минимальным. На рисунке 3 приведен пример обычной и оптимальной траектории.



*Рисунок 2 – Траектория: а-оптимальная, б- обычная*

**Вывод:** Представлены графические материалы демонстрируют основную проблему построения траектории движения роботизированного плавсредства.

#### Список цитированных источников

1. В.С. Ермаков, Н.Н. Загрядская, Е.В. Михаленко, Н.Д. Беляев. Инженерная геодезия. Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации морских и водно-транспортных сооружений. Учебное пособие. 2001.-72с.
2. S. Hert, S. Tiwari, V. Lumelsky. A terrain-covering algorithm for an AUV.-48с.
3. S J.L.Bishop. Search pattern generation and path management for search over rough terrain with a small UAV. 2010.-186с.

УДК 539.216.1

*Семашкевич И.Д.*

*Научный руководитель: ст. преп. Русакова З.В.*

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОННЫХ ПУЧКОВ В СИСТЕМАХ МИКРОЛИНЗ

В настоящее время в экспериментальной физике большой интерес вызывают фокусирующие свойства диэлектрических микросфер и микроцилиндров из прозрачных материалов. В работах теоретического [1-2] и экспериментального [3-4] направления было показано, что сферы могут генерировать пучок света с очень малым размером светового пятна и с углом расхождения в два раза меньше, чем в пучке, полученным классической фокусировкой гауссова пучка в свободном пространстве [5]. Фотонный пучок представляет собой узкий, высокоинтенсивный электромагнитный пучок, который распространяется в фоновой среде от теневой боковой поверхности диэлектрического микроцилиндра (или микросферы), освещенного плоской волной, причем диаметр этих тел больше чем длина волны излучения  $\lambda$

Основные свойства фотонного пучка: пучок распространяется без затухания и может содержать субдлинноволновую полуширину спектральной линии, поперечная ширина луча может расширяться более чем на  $\sim 2\lambda$  вне диэлектрического цилиндра или сферы. Минимальная полуширина спектральной линии пучка может быть меньше, чем классический дифракционный предел (величина порядка  $\sim \lambda/3$  для микросфер). Фотонный пучок - нерезонансное явление, которое может наблюдаться для широкого диапазона диаметров (от  $\sim 2\lambda$  до более чем  $40\lambda$ ) диэлектрического микроцилиндра или микросферы, при условии, что относительный показатель преломления сферического тела и окружающей среды менее 2. К тому же пучок обладает высокой интенсивностью, которая может значительно превышать интенсивность облучающей микросферу волны.

Сочетание этих свойств позволяет говорить о важных потенциальных применениях фотонных пучков, таких как обнаружение и управление наноразмерными объектами, нанолитография субдифракционного разрешения, создание волноводов с малыми потерями, для систем оптического хранения информации со сверхплотной записью.

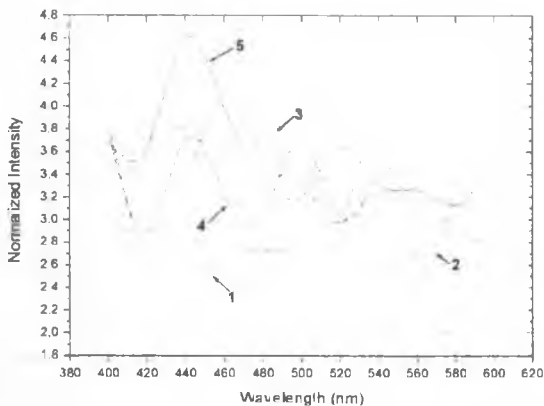
Цель работы – моделирование фотонных пучков в системах микролинз для выявления основных закономерностей формирования фотонных пучков и определения оптимальных условий их возбуждения. Компьютерное моделирование дает широкие возможности быстро подобрать материал для микролинз и параметры фотонных пучков, необходимые для конструирования новых оптоэлектронных устройств.

Наиболее подходящей для численного моделирования методом конечных элементов в рамках поставленной задачи является пакет Comsol Multiphysics, который обладает развитыми возможностями графического вывода результатов численного моделирования. Применение данного пакета обусловлено и тем обстоятельством, что выбор вычислительной сетки может быть задан программой автоматически, что значительно упрощает процедуру метода конечных элементов. Кроме того, для одной геометрии системы можно одновременно рассчитывать не только оптическую модель, но и другие, например электрическую и тепловую, а затем связывать их между собой.

С точки зрения практических применений фотонных пучков представляет интерес исследование свойств систем микролинз, состоящих из нескольких близкорасположенных микролинз. Такие цепочечные фотонные структуры позволяют осуществить передачу оптического сигнала на расстояния в несколько десятков диаметров микросфер или микроцилиндров, в то время как одиночный микроцилиндр создает фотонный пучок длиной порядка диаметра.

С другой стороны, в каждой микролинзе имеется поглощение и потери энергии, что снижает интенсивность света на выходе из такой цепочки микролинз, причем каждая микролинза одновременно является микрорезонатором, т.е. вся система может обладать волноводными свойствами.

На рисунке 1 представлен результат расчета зависимости нормированной интенсивности выходящего излучения из системы двух микроцилиндров относительно интенсивности падающей волны от длины волны при различных показателях преломления материала микроцилиндров. Из рисунка видно, что максимумы интенсивности соответствуют длинам волн падающей волны 400 – 480 нм.



**Рисунок 1 – Зависимости нормированной интенсивности выходящего излучения из системы двух микроцилиндров диаметром 5 мкм от длины волны при различных показателях преломления материала микроцилиндров: 1 – 2,1, 2 – 2,2, 3 – 2,3, 4 – 2,4, 5 – 2,5.**

На рисунках 2-3 представлен фотонный пучок, сформированный системой двух микроцилиндров диаметром 5 мкм при различных показателях преломления материала при длине волны, соответствующей максимуму выходящего излучения.

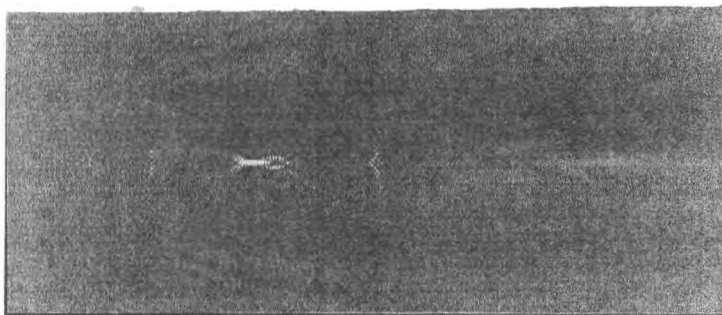


Рисунок 2 – Фотонный пучок, сформированный системой двух микроцилиндров диаметром 5 мкм с показателем преломления 2,1, длина падающей волны равна 400 нм

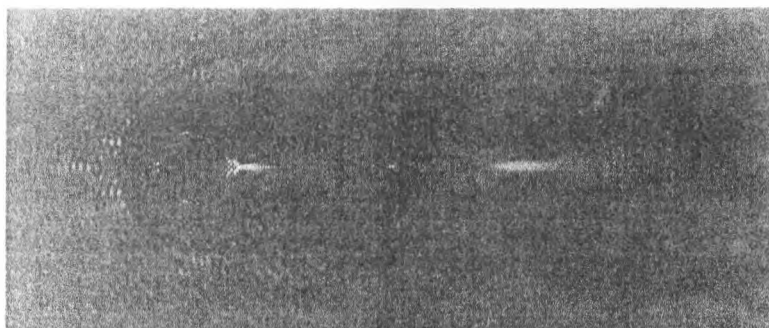


Рисунок 3 – Фотонный пучок, сформированный системой двух микроцилиндров диаметром 5 мкм с показателем преломления 2,5, длина падающей волны равна 440 нм

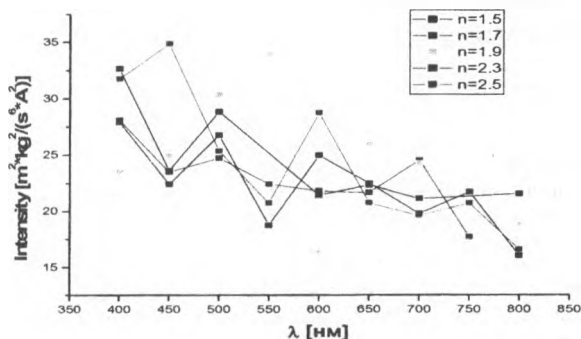


Рисунок 4 – Зависимости нормированной интенсивности выходящего излучения из системы двух микроцилиндров диаметром 6 мкм от длины волны при различных показателях преломления материала микроцилиндров: 1 – 2,1, 2 – 2,2, 3 – 2,3, 4 – 2,4, 5 – 2,5.

Из рисунков видно, что с увеличением показателя преломления микроцилиндров уменьшается длина фотонного пучка.

Результаты, представленные на рисунке 4, коррелируют с данными рисунка 1, при этом максимальные значения интенсивности находятся в диапазоне длин волн от 400 нм до 550 нм в зависимости от показателя преломления микроцилиндров.

Понимание механизмов сцепления индуцированных пучков имеет решающее значение для выбора таких структур, из которых можно построить оптические волноводы и компактные фотонные устройства для передачи сигнала со сверхмалыми потерями на большие расстояния. Исходя из параметров интенсивности и распределения усиленных индуцированных мод фотонных пучков от микроцилиндров, рассмотренные структуры могут стать важным инструментом в области нанотехнологий и нанобиотехнологии. Дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования в этом направлении необходимы для разработки методик применения фотонных пучков в оптоэлектронных устройствах различного назначения.

#### **Список цитированных источников**

1. Itagi, A.V. Optics of photonic nanojets / A.V. Itagi, W.A. Challener // J. Opt. Soc. Am. A – 2005. – Vol. 22, no. 12. – p. 2847–2858.
2. Lecler, S. Properties of a three-dimensional photonic jet / S. Lecler, Y. Takakura, P. Meyrueis // Opt. Lett – 2005. – Vol. 30, no. 19 – p. 2641–2643.
3. Gerlach, M. Nanojets and directional emission in symmetric photonic molecules / M. Gerlach, Y.P. Rakovich, J.F. Donegan // Opt. Express – 2007. – Vol. 15, no. 25 – p. 17343–17350.
4. Ferrand, P. Direct imaging of photonic nanojets / P. Ferrand, et al. // Opt. Express – 2008. – Vol. 16, no. 10 – p. 6930–6940.
5. Devilez, A. Spectral analysis of three-dimensional photonic jets / A. Devilez, et al. // Opt. Express. – 2008. – Vol. 16, no. 18. – p. 14200–14212.

УДК 519.175

*Сосновский М.С., Цибилов К.А.*

*Научный руководитель: к.м.н., доцент Шуть В.Н.*

### **ПОИСК НЕГАМИЛЬТОНОВЫХ КУБИЧЕСКИХ ПЛОСКИХ ГРАФОВ**

Теория графов представляет собой интересный предмет, связанный со многими аспектами науки и техники, находящий широкое практическое применение. Наше столетие было свидетелем неуклонного развития теории графов. В этом процессе явно заметно влияние запросов новых областей приложений: теории игр и программирования, теории передачи сообщений, электрических сетей и контактных цепей, а также проблем в области психологии и биологии, электрики, моделей кристаллов и структур молекул и др. Развитие формальной логики привело к изучению бинарных отношений в форме графов.

Целью моей работы является поиск негамильтоновых кубических плоских графов. Другая цель, решаемая в данной работе, это построение всех кубических плоских трехсвязных графов.

Наименьший известный в настоящее время негамильтонов трехсвязный плоский граф, имеющий 38 вершин, был построен независимо Ледербергом, Босаком и Барнеттом. В рамках данной работы будет предпринята попытка найти негамильтоновы трехсвязные плоские графы с порядком меньшим 38.



Следует предположить, что таких графов среди однородных степени 3 много. До настоящего времени все найденные графы представляли ручную работу отдельных исследователей. В настоящей работе изготавливается невод, которым будет просеяно все или почти все множество однородных графов и, надеемся, будут найдены требуемые объекты. Попробуем определить, как глубоко озеро, в которое нам необходимо будет закидывать наш невод.

Однородные графы используются в проектировании вычислительных сетей, когда каждый компьютер сети соединен с равным числом компьютеров. Также используются в исследовании однородных вычислительных сред, в теле коммуникации и т.д.

В данной работе для достижения результата использовалось 2 подхода.

Первый подход:

- Решаем диофантовы уравнения вида
- Из полученных мы выбираем те в которых выполняется теорема Гринберга

• Выбираем набор граней без ГК и начинаем соединять грани между собой пока не получим то, что все ребра граней соединены

• Проверяем граф на наличие в нём двух подграфов и тем самым проверяем граф на планарность.

Второй подход:

- Заносим описание минимального кубического графа  $K_4$

▪ Производим установку ребра в выбранной грани и получаем новый кубический граф. Продолжаем перестановку ребра до тех пор пока будут сгенерированы все возможные графы из данного.

- Проверяем граф на изоморфность с уже построенными.

- Проверяем граф на наличие гамильтонова контура по теореме

Гринберга.

Эти алгоритмы являются важной составляющей для решения широкого круга более узких задач с использованием графов, например такого вопроса как поиск кубического трехсвязного негамильтонового графа с наименьшим числом вершин.

**Список цитированных источников**

1. Грюнбаум А. – Философские проблемы пространства и времени 1969 г.
2. Н. Кристофидес. Теория графов: алгоритмический подход, Мир, 1978 г.
3. Ф.А. Новиков. Дискретная математика для программистов, Питер 2001 г
4. А. Д. Плотников. Дискретная математика, Москва, 2006.

УДК 004.89

*Суховер А.С.*

*Научный руководитель: профессор В.А. Головки*

## **ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ГЛУБОКОГО ДОВЕРИЯ**

**Введение**

Обнаружение и распознавание объектов составляет неотъемлемую часть человеческой деятельности. Пока еще не совсем понятно, как человеку удастся так точно и так быстро выделять и узнавать нужные предметы в разнообразии окружающей среды. Попытки выяснить это делаются физиологами и психологами уже более ста лет. Распознавание трехмерных объектов по их

двумерным изображениям стало в последнее время одной из важнейших задач анализа сцен и машинного зрения.[1]

Целью настоящей работы является разработка нейросетевой системы обработки изображений для анализа сцен, позволяющей обнаруживать и идентифицировать объекты на изображении.

### 1. Архитектура сети глубокого доверия

В общем случае нейронные сети глубокого доверия (deep belief neural networks) представляют собой перцептрон с множеством слоев нейронных элементов [2–11]. До 2006 г. в научной среде была приоритетной парадигма, в рамках которой многослойный перцептрон с одним, максимум двумя скрытыми слоями является более эффективным для нелинейного преобразования входного пространства образов в выходное по сравнению с перцептроном с большим количеством скрытых слоев. Считалось, что перцептрон с более чем двумя скрытыми слоями не имеет смысла применять. Данная парадигма базировалась на теореме о том, что перцептрон с одним скрытым слоем является универсальным аппроксиматором. Другой аспект этой проблемы заключается в том, что все попытки использовать алгоритм обратного распространения ошибки (error backpropagation algorithm) для обучения перцептрона с тремя и более скрытыми слоями не приводили к улучшению решения различных задач. Это связано с тем, что алгоритм обратного распространения ошибки является неэффективным для обучения перцептронов с тремя и более слоями. В 2006 г. Дж.Хинтон (G.Hinton) предложил "жадный" алгоритм послойного обучения (greedy layer-wise algorithm) [2], который стал эффективным средством обучения нейронных сетей глубокого доверия, которые как уже отмечалось, представляют собой перцептрон с большим количеством слоев. Было показано, что нейронная сеть глубокого доверия имеет большую эффективность нелинейного преобразования и представления данных по сравнению с традиционным перцептроном. Такая сеть осуществляет глубокое иерархическое преобразование входного пространства образов[4].

Как уже отмечалось, нейронная сеть глубокого доверия содержит множество скрытых слоев (рисунок 1) и осуществляет глубокое иерархическое преобразование входного пространства образов.

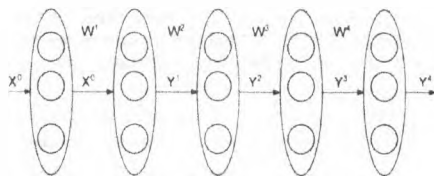


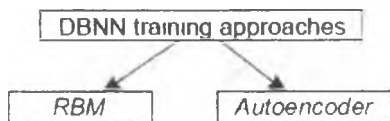
Рисунок 1 - Пример сети глубокого доверия

Процесс обучения нейронных сетей глубокого доверия в общем случае состоит из двух этапов:

1) предобучение нейронной сети методом послойного обучения, начиная с первого слоя (pretraining); данный этап обучения осуществляется без учителя;

2) настройка синаптических связей всей сети (fine-tuning) при помощи алгоритма обратного распространения ошибки или алгоритма «бодрствования и сна» (wake-sleep algorithm).

Важным этапом обучения нейронных сетей глубокого доверия является предобучение слоев нейронной сети. Существует два основных подхода к предварительному обучению слоев нейронных сетей глубокого доверия (рисунок 2) [9,11].



**Рисунок 2 - Методы предварительного обучения сетей глубокого доверия**

Первый подход называется автоэнкодерным и базируется на представлении каждого слоя в виде автоассоциативной нейронной сети (рециркуляционная или PCA нейронная сеть). Вторым подходом базируется на представлении каждого слоя нейронной сети в виде ограниченной машины Больцмана (RBM)[9,11].

## 2. Алгоритмы обучения

В данной работе использовались следующие алгоритмы обучения: алгоритм обратного распространения ошибки и алгоритм предобучения основанный на использовании ограниченной машины Больцмана [9].

Выходное значение  $j$ -го нейрона  $k$ -го слоя определяется следующим образом:

$$y_j^k = F(s_j^k)$$

$$s_j^k = \sum_{i=1} w_{ij}^k y_i^{k-1} + T_j^k$$

где  $F$  – функция активации нейронного элемента;

$S$  – взвешенная сумма  $j$ -го нейрона  $k$ -слоя;

$w_{ij}$  – весовой коэффициент между  $i$ -м нейроном  $(k-1)$ -го слоя и  $j$ -м нейроном  $k$ -го слоя;

$T$  – пороговое значение  $j$ -го нейрона  $k$ -го слоя.

Выходные значения сети определяются на основе функции активации  $\text{softmax}$ [10]:

$$y_j^k = \text{softmax}(s_j) = \frac{e^{s_j}}{\sum_i e^{s_i}}$$

Ограниченная машина Больцмана состоит из двух слоев стохастических бинарных нейронных элементов, которые соединены между собой двуправленными симметричными связями (рисунок 3). Входной слой нейронных элементов называется видимым (слой  $X$ ), а второй слой – скрытым (слой  $Y$ ). Нейронную сеть глубокого доверия можно представить как совокупность ограниченных машин Больцмана. Ограниченная машина Больцмана может генерировать (представить) любое дискретное распределение, если используется достаточное количество нейронов скрытого слоя [6].

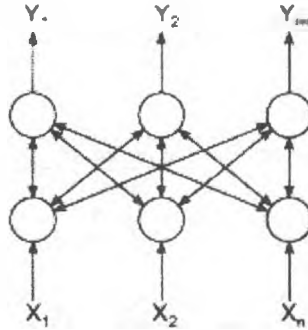


Рисунок 3 - Ограниченная машина Больцмана

Так как вычисление математического ожидания на основе RBM-сети является очень сложным, Дж.Хинтон предложил использовать аппроксимацию данных слагаемых, которую он назвал контрастным расхождением (contrastive divergence (CD)) [2]. Такая аппроксимация основывается на дискретизаторе Гиббса (Gibbs sampling). В этом случае первые слагаемые в выражениях для градиента характеризуют распределение данных в момент времени  $t=0$ , а вторые – реконструированные или генерируемые моделью состояния в момент времени  $t=k$ . Исходя из этого, CD-k процедура может быть представлена следующим образом (рисунок 4):

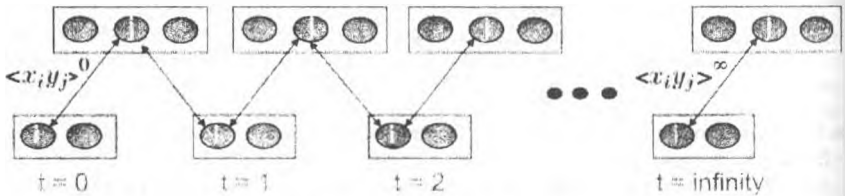


Рисунок 4 - Процесс CD-k

Тогда правила обучения в случае CD-k приобретают следующий вид:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) - \alpha (x_i(0)y_j(0) - x_i(k)y_j(k)),$$

$$T_i(t+1) = T_i(t) - \alpha (y_i(0) - y_i(k)),$$

$$T_j(t+1) = T_j(t) - \alpha (x_j(0) - x_j(k)).$$

### 3. Эксперименты

В ходе работы было разработано программное обеспечение и проведен ряд экспериментов.

В качестве обучающей и тестовой выборки использовался набор изображений CIFAR-10. CIFAR-10 состоит из 60.000 цветных изображений размером 32x32 разбитых на 10 классов. Каждый класс содержит 6.000 изображений.

Набор данных состоит из пяти тренировочных частей и одной тестовой части, каждая из которых содержит 10.000 изображений. Тестовая часть содержит ровно 1000 случайно выбранных изображений из каждого класса. Тренировочные части содержат оставшиеся изображения в случайном порядке. Все классы взаимоисключающие. То есть, например, нет перекрытия между легковыми автомобилями и грузовиками. Легковые автомобили включают в себя седаны, внедорожники и другие модели, а грузовики только большие машины.

В текущем исследовании использовалась нейронная сеть со следующими параметрами:

1) количество слоев 4. Количество нейронов 3072-6144-6144-10. Количество нейронов равно 3072 на входном слое обусловлено размером (32x32) и типом входного изображения (цветное RGB изображение). Количество нейронов на выходе равно 10, т.к. в наборе CIFAR-10 десять классов изображений.

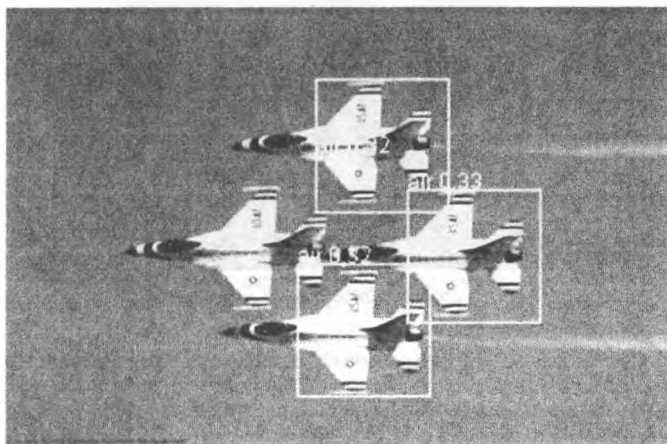
2) шаг обучения  $\alpha = 0.03$ .

3) количество эпох равно 100.

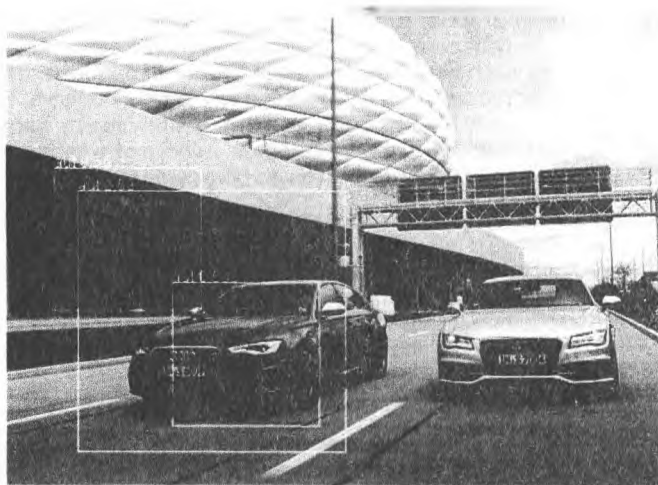
Для обнаружения местоположения объекта на изображении использовался метод "скользящего окна". Изображения сканируются скользящим "окном", покрывающим одновременно несколько пикселей. При этом в окне оказывается некоторый фрагмент изображения. При перемещении окна фрагмент меняется. Постепенно окно сканирует все поле изображения. После происходит увеличение размера окна и процедура сканирования продолжается с начальной позиции до тех пор, пока размер окна не будет совпадать с размером изображения.

Все пиксели, попадающие в окно, сначала сжимаются до размера изображения обучающей выборки, а после подаются на вход нейронной сети. Результатом обработки являются значения выходного слоя нейронной сети, которые показывают вероятность принадлежности к определенному классу объектов.

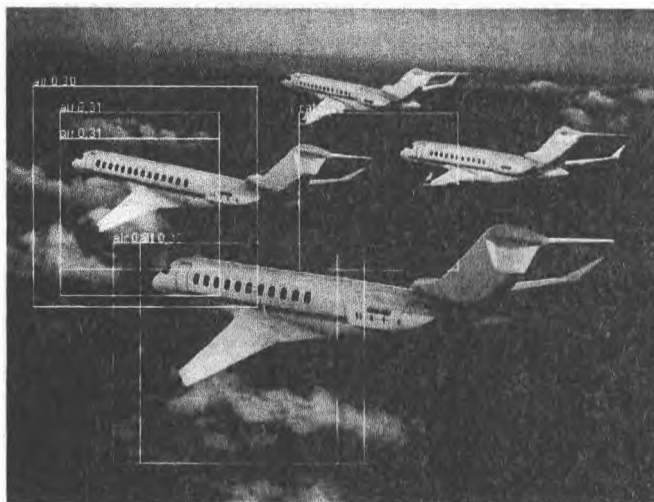
Пример результата работы данной системы можно наблюдать на рисунках 5,6,7:



*Рисунок 5 - Пример полученных результатов*



*Рисунок 6 - Пример полученных результатов*



*Рисунок 7 - Пример полученных результатов*

**Заключение:**

В ходе проведенных научных исследований были получены следующие результаты:

1. Разработана и исследована нейронная сеть глубокого доверия для анализа сцен, которая позволяет обнаруживать и идентифицировать объекты на изображении. Основным отличием предложенного подхода является возможность проводить анализ сцен без использования сегментации изображений.

2. Проведены эксперименты по распознаванию сцен с использованием масштабирующего скользящего окна.

3. Разработано программное обеспечение для моделирования нейронных сетей глубокого доверия для анализа изображений.

Исследования в данной работе показали, что сети глубокого доверия являются эффективным средством для обнаружения и идентификации образов и не требуют сегментации изображений.

#### Список цитированных источников

1. Гуревич И.Б. Проблема распознавания изображений. Распознавание. Классификация. Прогноз. Математические методы и их применение: Ежегодник. Вып.1. – М.: Наука, 1989.

2. Hinton G.E., Osindero S., Teh Y. A fast learning algorithm for deep belief nets // Neural Computation. – 2006. – Vol. 18. – pp. 1527-1554.

3. Hinton G. Training products of experts by minimizing contrastive divergence // Neural Computation. – 2002. – Vol. 14. – pp. 1771-1800.

4. Hinton G., Salakhutdinov R. Reducing the dimensionality of data with neural networks // Science. – 2006. – 313 (5786). – pp. 504-507.

5. Hinton G. E. A practical guide to training restricted Boltzmann machines. – Tech. Rep. 2010-000. Toronto: Machine Learning Group, University of Toronto, 2010.

6. Bengio Y. Learning deep architectures for AI // Foundations and Trends in Machine Learning. – 2009. – 2(1). – pp. 1-127.

7. Bengio Y., Lamblin P., Popovici D., Larochelle H. Greedy layer-wise training of deep networks // In B. Schölkopf, J.C. Platt, T.Hoffman (Eds.), Advances in Neural Information Processing Systems, 11. – MA: MIT Press, Cambridge, 2007. – pp. 153-160.

8. Erhan D., Bengio Y., Courville A., Manzagol P.-A., Vincent P., Bengio S. Why does unsupervised pre-training help deep learning? // Journal of Machine Learning Research. – 2010. – 11. – pp. 625-660.

9. Golovko V.A Learning technique for deep belief neural networks / V.Golovko, A.Kroshchanka, U. Rubanau, S. Jankowski // In book: Neural Networks and Artificial Intelligence. – Springer, 2014. – Vol. 440. Communication in Computer and Information Science. – pp. 136-146.

10. Головкин, В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение: Кн. 4: учеб. пособие для вузов / Общая ред. А.И. Галушкина. – М.: ИПРЖР, 2001. – 256 с.

11. Головкин, В.А. От многослойных перцептронов к нейронным сетям глубокого доверия: парадигмы обучения и применение/ В.А.Головкин // Лекции по Нейроинформатике. – М.: НИЯУ МИФИ, 2015. – С. 47-84.

УДК 519.2

**Липовцев А.П.**

**Научные руководители: к.т.н., доцент Махнист Л.П., к.ф.-м.н., доцент Каримова Т.И.**

### О МОМЕНТАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУАССОНА И НЕКОТОРЫХ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ

Распределение Пуассона – распределение вероятностей случайной величины  $X$ , принимающей целые неотрицательные значения  $k = 0, 1, 2, \dots$  с вероятностями

$$P(X = k) = p_k = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!},$$

где  $\lambda > 0$  – параметр.

Распределение названо в честь французского математика С.Д. Пуассона (1781-1840), впервые получившего его в 1837 г. Распределение Пуассона является предельным случаем биномиального распределения, когда вероятность  $p$  осуществления события мала, но число испытаний  $n$  велико, причем  $np = \lambda$ . Точнее, справедливо предельное соотношение:

$$\lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ np = \lambda}} P(X = x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}, \quad x = 0, 1, 2,$$

Поэтому распределение Пуассона часто называют также «законом редких событий».

Распределение Пуассона используется при анализе результатов выборочных маркетинговых обследований потребителей, расчете оперативных характеристик планов статистического приемочного контроля в случае малых значений приемочного уровня дефектности, для описания числа разладок статистически управляемого технологического процесса в единицу времени, числа «треований на обслуживание», поступающих в единицу времени в систему массового обслуживания, статистических закономерностей несчастных случаев и редких заболеваний, и т.д.

Моментом  $n$ -ого порядка ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) случайной величины  $X$  относительно числа  $a$  называется математическое ожидание  $M((X - a)^n)$ .

Начальным моментом  $n$ -ого порядка ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) случайной величины  $X$  (относительно числа  $a = 0$ ) называется  $\alpha_n = M(X^n)$ . Заметим, что  $\alpha_0 = 1$ ,  $\alpha_1 = M(X)$ .

Центральным моментом  $n$ -ого порядка случайной величины  $X$  (относительно центра распределения, т.е. числа  $a = M(X)$ ) называется  $\mu_n = M((X - M(X))^n)$ . Очевидно, что  $\mu_0 = 1$ ,  $\mu_1 = 0$ ,  $\mu_2 = D(X)$ .

Факториальным моментом  $n$ -ого порядка ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) случайной величины  $X$  относительно числа  $a$  называется математическое ожидание  $M((X - a)(X - a - 1) \dots (X - a - n + 1))$ .

Начальным факториальным моментом  $n$ -ого порядка ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) случайной величины  $X$  (относительно числа  $a = 0$ ) называется  $\alpha_{[n]} = M(X^{[n]}) = M(X(X - 1) \dots (X - n + 1))$ . Заметим, что  $\alpha_{[0]} = 1$ ,  $\alpha_{[1]} = M(X)$ .

Центральным факториальным моментом  $n$ -ого порядка ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) случайной величины  $X$  (относительно центра распределения, т.е. числа  $a = M(X)$ ) называется

$$\mu_{[n]} = M((X - M(X))^{[n]}) = M((X - M(X))(X - M(X) - 1) \dots (X - M(X) - n + 1))$$

Заметим, что  $\mu_{[0]} = 1$ ,  $\mu_{[1]} = 0$ ,  $\mu_{[2]} = D(X)$ .

**Математическое ожидание** закона распределения Пуассона (начальный момент 1-ого порядка):

$$\alpha_1 = M(X) = \sum_{k=0}^{\infty} k p_k = e^{-\lambda} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k \lambda^k}{k!} = \lambda e^{-\lambda} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\lambda^{k-1}}{(k-1)!} = \lambda e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\lambda^k}{k!} = \lambda e^{-\lambda} e^{\lambda} = \lambda$$



Вычислим начальный момент 2-ого порядка:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \sum_{k=0}^{+\infty} k^2 p_k = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{k^2 \lambda^k}{k!} = \lambda e^{-\lambda} \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{k \lambda^{k-1}}{(k-1)!} = \lambda e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(\lambda^k)' }{(k-1)!} \\ &= \lambda e^{-\lambda} \left[ \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{\lambda^k}{(k-1)!} \right] = \lambda e^{-\lambda} \left[ \lambda \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{\lambda^{k-1}}{(k-1)!} \right] = \lambda e^{-\lambda} \left[ \lambda \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{\lambda^k}{k!} \right] \\ &= \lambda e^{-\lambda} (\lambda e^{\lambda})' = \lambda e^{-\lambda} (\lambda' e^{\lambda} + \lambda (e^{\lambda})') = \lambda e^{-\lambda} (\lambda \cdot e^{\lambda} + \lambda e^{\lambda}) = \lambda(1 + \lambda) = \lambda + \lambda^2. \end{aligned}$$

Начальный момент 2-ого порядка можно вычислить иначе:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \sum_{k=0}^{+\infty} k^2 p_k = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{k^2 \lambda^k}{k!} = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(k + k(k-1)) \lambda^k}{k!} = \\ &= e^{-\lambda} \left[ \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{k \lambda^k}{k!} + \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{k(k-1) \lambda^k}{k!} \right] = e^{-\lambda} \left[ \lambda \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{\lambda^{k-1}}{(k-1)!} + \lambda^2 \sum_{k=2}^{+\infty} \frac{\lambda^{k-2}}{(k-2)!} \right] \\ &= e^{-\lambda} \left[ \lambda \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{\lambda^k}{k!} + \lambda^2 \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{\lambda^k}{k!} \right] = e^{-\lambda} (\lambda e^{\lambda} + \lambda^2 e^{\lambda}) = \lambda + \lambda^2 \end{aligned}$$

Здесь использовалось соотношение  $k^2 = k + k(k-1)$ . Несложно проверить, что  $k^3 = k + 3k(k-1) + k(k-1)(k-2)$ . Тогда начальный момент 3-ого порядка:

$$\alpha_3 = \sum_{k=0}^{+\infty} k^3 p_k = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{k^3 \lambda^k}{k!} = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(k + 3k(k-1) + k(k-1)(k-2)) \lambda^k}{k!} = \lambda + 3\lambda^2 + \lambda^3$$

Можно проверить, что  $k^4 = k + 7k(k-1) + 6k(k-1)(k-2) + k(k-1)(k-2)(k-3)$ . Тогда начальный момент 4-ого порядка:

$$\begin{aligned} \alpha_4 &= \sum_{k=0}^{+\infty} k^4 p_k = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(k + 7k(k-1) + 6k(k-1)(k-2) + k(k-1)(k-2)(k-3)) \lambda^k}{k!} = \\ &= e^{-\lambda} (\lambda e^{\lambda} + 7\lambda^2 e^{\lambda} + 6\lambda^3 e^{\lambda} + \lambda^4 e^{\lambda}) = \lambda + 7\lambda^2 + 6\lambda^3 + \lambda^4. \end{aligned}$$

Найдем начальные факториальные моменты распределения Пуассона  $n$ -ого порядка

$$\begin{aligned} \alpha_{[n]} &= M(X^{[n]}) = \sum_{k=0}^{+\infty} k^{[n]} p_k = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{k^{[n]} \lambda^k}{k!} = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{k(k-1)\dots(k-n+1) \lambda^k}{k!} = \\ &= e^{-\lambda} \sum_{k=n}^{+\infty} \frac{k(k-1)\dots(k-n+1) \lambda^k}{k!} = \lambda^n e^{-\lambda} \sum_{k=n}^{+\infty} \frac{\lambda^{k-n}}{(k-n)!} = \lambda^n e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{\lambda^k}{k!} = \lambda^n. \end{aligned}$$

Начальные моменты  $n$ -ого порядка случайной величины  $X$  связаны с ее начальными факториальными моментами соотношением [1]

$$\alpha_n = M(X^n) = M(S_0^{(n)} X^{[n]} + \dots + S_1^{(n)} X^{[1]}) = \sum_{m=0}^n S_m^{(n)} M(X^{[m]}) = \sum_{m=0}^n S_m^{(n)} \alpha_{[m]}$$

где коэффициенты  $S_m^{(n)}$  – числа Стирлинга второго рода.

Некоторые значения  $S_i^{(n)}$  внесем в таблицу

$n$	$S_0^{(n)}$	$S_1^{(n)}$	$S_2^{(n)}$	$S_3^{(n)}$	$S_4^{(n)}$	$S_5^{(n)}$
1	1					
2	1	1				
3	1	3	1			
4	1	7	6	1		
5	1	15	25	10	1	
6	1	31	90	65	15	1

Тогда для начальных моментов  $n$ -ого порядка распределения Пуассона выполняется  $\alpha_n = \sum_{m=1}^n S_m^{(n)} \lambda^m$ . Например,

$$\alpha_1 = \sum_{m=1}^1 S_m^{(1)} \lambda^m = S_1^{(1)} \lambda = \lambda \quad \text{— математическое ожидание,}$$

$$\alpha_2 = \sum_{m=1}^2 S_m^{(2)} \lambda^m = S_1^{(2)} \lambda + S_2^{(2)} \lambda^2 = \lambda + \lambda^2,$$

$$\alpha_3 = \sum_{m=1}^3 S_m^{(3)} \lambda^m = S_1^{(3)} \lambda + S_2^{(3)} \lambda^2 + S_3^{(3)} \lambda^3 = \lambda + 3\lambda^2 + \lambda^3,$$

$$\alpha_4 = \sum_{m=1}^4 S_m^{(4)} \lambda^m = S_1^{(4)} \lambda + S_2^{(4)} \lambda^2 + S_3^{(4)} \lambda^3 + S_4^{(4)} \lambda^4 = \lambda + 7\lambda^2 + 6\lambda^3 + \lambda^4.$$

Начальные моменты  $n$ -ого порядка случайной величины  $X$  можно также вычислить, используя формулу:

$$\alpha_n = \sum_{m=1}^n \frac{T_m^{(n)}}{m!} \alpha_{|m-1|}$$

где коэффициенты  $T_m^{(n)}$  — последовательность A019538 в OEIS (англ. On-Line Encyclopedia of Integer Sequences, Энциклопедия целочисленных последовательностей).  $T_m^{(n)}$  могут быть получены с помощью рекуррентной формулы  $T_m^{(n)} = m(T_{m-1}^{(n-1)} + T_m^{(n-1)})$ , полагая  $T_m^{(n)} = 0$ , если  $m < 1$  или  $m > n$ .

Начальные моменты  $n$ -ого порядка распределения Пуассона связаны с начальными моментами более низких порядков этого распределения соотношением:

$$\begin{aligned} \alpha_n &= \sum_{k=0}^{+\infty} k^n p_k = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{k^n \lambda^k}{k!} = \lambda e^{-\lambda} \sum_{k=1}^{+\infty} \frac{k^{n-1} \lambda^{k-1}}{(k-1)!} = \lambda e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(k+1)^{n-1} \lambda^k}{k!} = \\ &= \lambda e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \left( \sum_{l=0}^{n-1} C_{n-1}^l k^l \right) \frac{\lambda^k}{k!} = \lambda \sum_{l=0}^{n-1} \left( C_{n-1}^l e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{k^l \lambda^k}{k!} \right) = \lambda \sum_{l=0}^{n-1} C_{n-1}^l \alpha_l. \end{aligned}$$

Тогда, например,

$$\alpha_2 = \lambda \sum_{i=0}^1 C_1^i \alpha_i = \lambda (C_1^0 \alpha_0 + C_1^1 \alpha_1) = \lambda (\alpha_0 + \alpha_1) = \lambda (1 + \lambda) = \lambda + \lambda^2,$$

$$\alpha_3 = \lambda \sum_{i=0}^2 C_2^i \alpha_i = \lambda (C_2^0 \alpha_0 + C_2^1 \alpha_1 + C_2^2 \alpha_2) = \lambda (\alpha_0 + 2\alpha_1 + \alpha_2) = \lambda + 3\lambda^2 + \lambda^3,$$

$$\alpha_4 = \lambda \sum_{i=0}^3 C_3^i \alpha_i = \lambda (C_3^0 \alpha_0 + C_3^1 \alpha_1 + C_3^2 \alpha_2 + C_3^3 \alpha_3) = \lambda + 7\lambda^2 + 6\lambda^3 + \lambda^4.$$

Центральные моменты  $n$ -ого порядка случайной величины  $X$  связаны с ее начальными моментами соотношением [1]

$$\begin{aligned} \mu_n &= M((X - M(X))^n) = M((X - \alpha_1)^n) = M \left[ \sum_{m=0}^n (-1)^m C_n^m X^{n-m} \alpha_1^m \right] = \\ &= \sum_{m=0}^n M((-1)^m C_n^m X^{n-m} \alpha_1^m) = \sum_{m=0}^n (-1)^m C_n^m M(X^{n-m}) \alpha_1^m = \sum_{m=0}^n (-1)^m C_n^m \alpha_{n-m} \alpha_1^m \end{aligned}$$

Найдем некоторые центральные моменты  $n$ -ого порядка распределения Пуассона:

дисперсия  $\mu_2 = D(X) = \alpha_2 - \alpha_1^2 = (\lambda^2 + \lambda) - \lambda^2 = \lambda$  (среднее квадратичное отклонение  $\sigma(X) = \sqrt{D(X)} = \sqrt{\lambda}$ ),

$$\mu_3 = \alpha_3 - 3\alpha_2\alpha_1 + 2\alpha_1^3 = \lambda^3 + 3\lambda^2 + \lambda - 3(\lambda^2 + \lambda)\lambda + 2\lambda^3 = \lambda,$$

$$\mu_4 = \alpha_4 - 4\alpha_3\alpha_1 + 6\alpha_2\alpha_1^2 - 3\alpha_1^4 = 3\lambda^2 + \lambda,$$

Центральный момент  $n$ -ого порядка распределения Пуассона связан с центральными моментами более низких порядков этого распределения соотношением:

$$\begin{aligned} \mu_n &= \sum_{k=0}^{+\infty} (k - \lambda)^n p_k = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(k - \lambda)^n \lambda^k}{k!} = \lambda e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(k - \lambda)^{n-1} \lambda^{k-1}}{(k-1)!} - \\ &- \lambda e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(k - \lambda)^{n-1} \lambda^k}{k!} = \lambda \sum_{i=0}^{n-2} C_{n-1}^i \mu_i + \lambda \mu_{n-1} - \lambda \mu_{n-1} = \lambda \sum_{i=0}^{n-2} C_{n-1}^i \mu_i \end{aligned}$$

Используя соотношение  $\mu_n = \lambda \sum_{i=0}^{n-2} C_{n-1}^i \mu_i$ , получим:

$$\mu_2 = \lambda \sum_{i=0}^0 C_1^i \mu_i = \lambda C_1^0 \mu_0 = \lambda,$$

$$\mu_3 = \lambda \sum_{i=0}^1 C_2^i \mu_i = \lambda (C_2^0 \mu_0 + C_2^1 \mu_1) = \lambda (1 + 0) = \lambda,$$

$$\mu_4 = \lambda \sum_{i=0}^2 C_3^i \mu_i = \lambda (C_3^0 \mu_0 + C_3^1 \mu_1 + C_3^2 \mu_2) = \lambda (1 + 0 + 3\lambda) = \lambda + 3\lambda^2.$$

#### Список цитированных источников

1. Махнист, Л.П. Моменты распределения вероятностей и некоторые целочисленные последовательности // Л.П. Махнист, Т.И. Каримова, И.И. Гладкий, В.С. Рубанов // Вест. Брест. гос. техн. ун-та. – Брест, 2013. – № 5(83): Физика, математика, информатика. – С. 54–56.

## РЕШЕНИЕ ОДНОМЕРНОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ МЕТОДОМ ДАЛАМБЕРА

В математической физике под струной понимают гибкую упругую нить. Напряжения, возникающие в струне в любой момент времени направлены по касательной к ее профилю. Пусть струна длины  $l$  в начальный момент времени направлена по отрезку оси  $Ox$  от  $0$  до  $l$ . Если струну отклонить от ее первоначального положения, а потом предоставить самой себе или, не отклоняя струны, придать в начальный момент ее точкам некоторую скорость, то точки струны будут совершать движения. Говорят, что струна начнет колебаться. Задача заключается в определении закона движения каждой точки струны в зависимости от времени.

Одномерное волновое уравнение, или уравнение колебаний струны, имеет вид

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (1)$$

где  $u(x, t)$  – отклонение от положения равновесия точки струны с абсциссой  $x$  в момент времени  $t$ ;  $a$  – фазовая скорость. Уравнение (1) называется *уравнением свободных колебаний*.

Дополнительные условия состоят из начальных и краевых. Предположим, что струна имеет длину  $l$ . Левый конец ее закреплен в точке  $x=0$ , а правый – в точке  $x=l$  (рисунок 1).

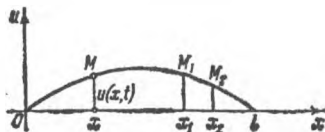


Рисунок 1 – Струна, закрепленная на концах

Если за начальный момент времени принять  $t=0$ , то начальные условия запишутся так:

$$u(x, 0) = f(x), \quad u'(x, 0) = F(x), \quad (2)$$

где  $f(x), F(x)$  – известные функции, определенные на отрезке  $[0, l]$ . Так как концы струны закреплены, то краевые условия имеют вид  $u(0, t) = 0, \quad u(l, t) = 0 (t > 0)$ .

Задача, содержащая только начальные условия, называется *задачей Коши*. Задача, содержащая начальные и краевые условия – *смешанной задачей*.

**Задача Коши для одномерного волнового уравнения.** Найти решение  $u = u(x, t)$  линейного однородного уравнения (1) удовлетворяющее начальным условиям (2). Для решения задачи о свободных колебаниях используют метод характеристик или метод Д'Аламбера.

Для уравнения (1) уравнения характеристик определяются из соотношения [1]

$$dx^2 - a^2 dt^2 = 0 \Leftrightarrow dx \pm a dt = 0.$$

Общими интегралами этих уравнений являются прямые  $x + at = C_1, x - at = C_2$ , где  $C_1, C_2$  – произвольные постоянные. Тогда с помощью замены

$x+at = \zeta, x-at = \eta$  приводим уравнение (1) к виду  $\frac{\partial^2 u}{\partial \zeta \partial \eta} = 0$ . Решением этого уравнения является функция

$$u(x,t) = f_1(x+at) + f_2(x-at), \quad (3)$$

где  $f_1, f_2$  – произвольные дважды непрерывно дифференцируемые функции.

Определим их исходя из начальных условий (2). При  $t=0$  из равенств (2) и (3) получаем

$$f_1(x) + f_2(x) = f(x), \quad a f_1'(x) - a f_2'(x) = F(x). \quad (4)$$

Интегрируя последнее равенство от 0 до  $x$ , находим, что

$$a f_1(x) - a f_2(x) = \int_0^x F(t) dt + C, \quad (5)$$

где  $C$  – произвольная постоянная. Решив совместно (4) и (5) относительно  $f_1, f_2$ , найдем:

$$f_1(x) = \frac{1}{2} \left( f(x) + \frac{1}{a} \int_0^x F(t) dt + C \right), \quad f_2(x) = \frac{1}{2} \left( f(x) - \frac{1}{a} \int_0^x F(t) dt + C \right).$$

Отсюда из формулы (3) получаем искомое решение задачи Коши для уравнения (1):

$$u(x,t) = \frac{1}{2} (f(x+at) + f(x-at)) + \frac{1}{2a} \int_{x-at}^{x+at} F(t) dt. \quad (6)$$

Соотношение (6) называется *формулой Даламбера*. В таком случае говорят, что решение задачи (1) – (2) представлено в виде суммы бегущих волн, а функции  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  – это профили волн, бегущих, соответственно, влево и вправо. В рассматриваемом случае профили волн со временем не изменяются.

#### Моделирование колебаний струны при различных начальных значениях.

Используя систему компьютерной математики *Mathematica 9.0*, продемонстрируем решение уравнения колебаний струны (1).

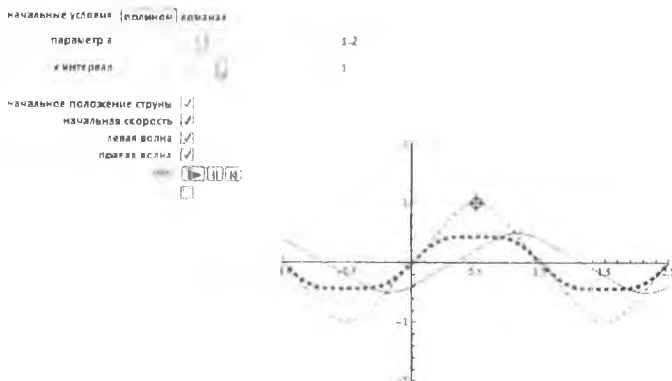
На рисунке 2 приведен скриншот программного модуля осуществляющего моделирование решений уравнения (1) при условии, что начальные условия (2) задаются графически [2]. А именно, изменяя положение локаторов на плоскости, можно задать вид функции  $f(x)$  графически. Более того, пользователь сам определяет количество локаторов на плоскости, выбирая для этого их положение в системе координат и нажимая левой кнопкой мыши на экран. Далее интерполяционные формулы, включенные в программный модуль, позволяют найти аналитический вид функции  $f(x)$  в виде полинома или ломаной на отрезке  $[0, l]$ . При этом пользователь сам определяет вид функции  $f(x)$ , выделяя соответствующую кнопку. Например, на рисунке 2 функция  $f(x)$  задана в виде полинома (тонкая, пунктирная линия). Триггер запускает решение без начальной скорости, т.е.  $F(x) \equiv 0$ , а  $f(x)$  имеет вид, заданный пользователем. По формуле Даламбера (6) получаем, что

$$u(x,t) = \frac{1}{2} (f(x+at) + f(x-at)).$$

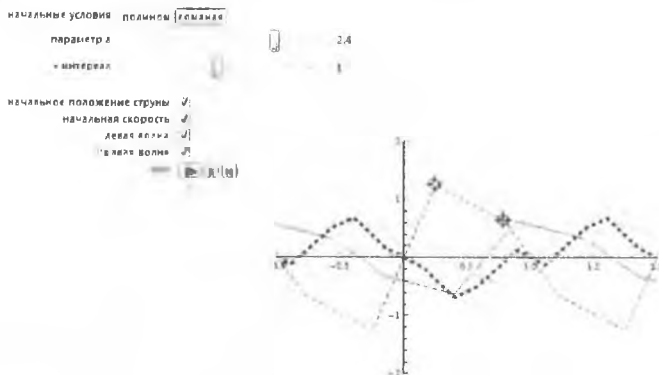
Отсюда можно сделать вывод, что функция  $u(x,t)$  есть сумма двух волн одинакового профиля, одна из которых бежит влево, а другая вправо. На рисунке 2 они изображены в виде тонких сплошных линий. При изменении времени  $t$  происходит наложение волн, в результате получаем график функции  $u(x,t)$  (на рисунке 2 – жирная пунктирная линия).

Таким образом, изменяя положения локаторов, значения параметра  $a$  и длины отрезка  $l$ , можно осуществлять симуляцию колебаний струны закрепленной на концах. На рисунке 3 приведен график функции  $u(x,t)$  при условии, что функция  $f(x)$  задана в виде ломанной.

Программный модуль, описанный выше, взят с официального сайта Wolfram Demonstration Project, доработан и усовершенствован авторами работы.



**Рисунок 2 – Скриншот программного модуля, осуществляющего моделирование решений уравнения (2) при условии, что  $f(x)$  задана графически в виде полинома,  $a = 1,2$**



**Рисунок 3 – Скриншот программного модуля, осуществляющего моделирование решений уравнения (2) при условии, что  $f(x)$  задана графически в виде ломанной,  $a = 2,4$**

**Список цитированных источников**

1. Жевняк, Р.М. Высшая математика: Учеб. пособие для втузов. Ч. IV / Р.М. Жевняк, А.А. Карпук. – Мн.: Выш. шк., 1987. – 240 с.
2. <http://demonstrations.wolfram.com/TheVibratingString/>.

**ПРОБЛЕМЫ  
МАШИНОСТРОЕНИЯ  
И ЭКСПЛУАТАЦИИ  
АВТОМОБИЛЬНОГО  
ТРАНСПОРТА**

## УПРОЩЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ СИНТЕЗЕ МЕТОДОМ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛЮСОВ

Данная работа посвящена проблеме управления движением, а также анализу возможностей упрощения структуры приводов, синтезируемых методом размещения полюсов. Метод размещения полюсов дает широкие возможности для проектирования систем автоматического регулирования (САР) и теоретически позволяет обеспечить любые переходные характеристики [1]. Для приводов роботов и других манипуляционных механизмов обязательным требованием является отсутствие перерегулирования [2]. Оно должно выполняться при изменении параметров привода, в частности приведенного к валу двигателя момента инерции.

Недостатком систем, синтезированных данным методом, является достаточно сложная структура. Система получается многоконтурной, причем количество контуров обратной связи равно числу переменных состояния системы. Поверхностный анализ проблемы показывает, что в частных случаях коэффициенты в цепях обратной связи по отдельным переменным могут быть равны нулю, то есть данные обратные связи могут отсутствовать. Это позволяет упростить структуру привода, что имеет важное значение для производства промышленных роботов. Поскольку приводы устанавливаются непосредственно на звеньях робота, они должны иметь по возможности меньшие габариты и массу.

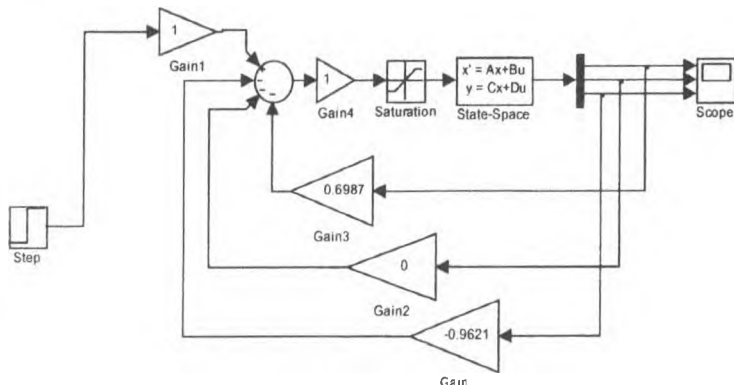
Приводы промышленных роботов часто строятся на основе двигателей постоянного тока и представляют собой САР по перемещению, которая имеет третий порядок. В качестве переменных состояния обычно принимают перемещение, скорость и ток двигателя. Для построения обратных связей указанные переменные должны измеряться, что требует соответствующих средств. Измерение скорости обычно производится тахогенератором. При отсутствии обратной связи по скорости тахогенератор не нужен. Это приводит не только к уменьшению массы и габаритов привода, но и упрощает управляющую часть. Однако это не должно ухудшать качество работы системы. Возможность практической реализации такого подхода требует дополнительного исследования, что является предметом данной работы.

Для решения поставленной задачи была разработана математическая модель привода на основе двигателя постоянного тока с обратными связями по перемещению, скорости и току двигателя в приложении SIMULINK среды программирования MATLAB, которая приведена на рисунке 1. Данная структура системы получается при синтезе методом размещения полюсов. С помощью данной модели исследована зависимость коэффициентов усиления в цепях обратной связи от расположения полюсов. Для обеспечения монотонности переходного процесса все полюсы принимались действительными.

Установлено, что при изменении значений полюсов в определенном диапазоне, коэффициенты обратной связи по скорости и току меняют знак. Это значит, что при определенном расположении полюсов один из коэффициентов равен нулю, как показано на рисунке 1, что фактически означает отсутствие обратной связи по соответствующей переменной. Кривые переходного процесса при указанных на рисунке 1 значениях коэффициентов приведены на рисунке 2. Данный рисунок показывает, что перерегулирование по углу поворота отсутствует, а время регулирования составляет примерно 10 с. Для некоторых роботов данное время поворота звена из одного крайнего положения в другое может быть приемлемым, для других требуется более высокое быстродействие.



Следует отметить, что нулевое значение коэффициента усиления в цепи обратной связи можно обеспечить при различных расположениях трех полюсов. Время регулирования в основном определяется положением доминирующего полюса (наименьшего по модулю). Наибольшее значение модуля, и соответственно, наименьшее время переходного процесса обеспечивается при одинаковом значении всех полюсов. Соответствующие кривые переходного процесса для данного случая приведены на рисунке 3.



**Рисунок 1 – Математическая модель привода робота в приложении SIMULINK**

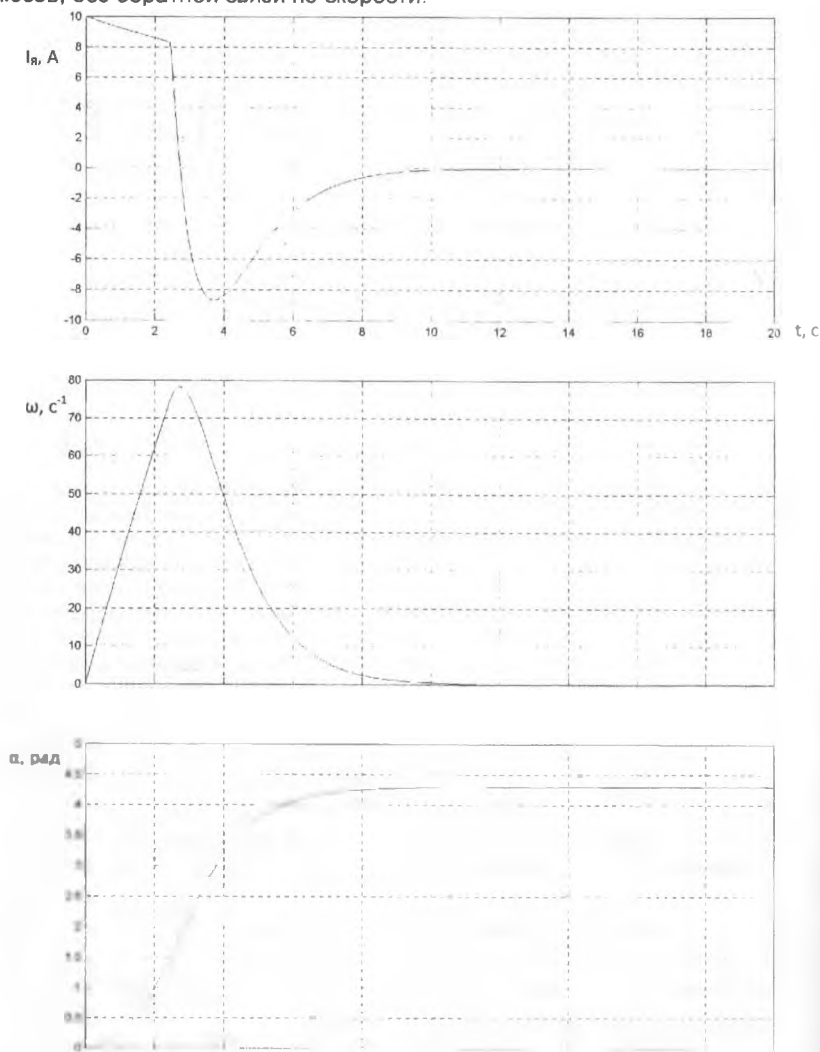
Как следует из приведенного рисунка, время регулирования сократилось до 4,5 с и это значение является предельным. Меньшее время регулирования для данного привода обеспечить нельзя при условии отсутствия обратной связи по скорости. Следует, однако, отметить, что в процессе отработки максимального угла поворота наибольшее достигнутое значение угловой скорости (около  $80 \text{ с}^{-1}$ ) примерно в 3,5 раза ниже номинального значения для используемого двигателя. При этом передаточное отношение редуктора принято равным 63.

Следовательно, уменьшив передаточное число, можно повысить скорость перемещения и соответственно, уменьшить время регулирования до 1...2 с. Таким образом, обеспечиваемые показатели качества переходного процесса являются вполне приемлемыми для приводов манипуляционных роботов и для них можно реализовать на практике привод, синтезированный методом размещения полюсов, при отсутствии обратной связи по скорости. Следует отметить, что значения двух других коэффициентов близки к единице, что благоприятно с точки зрения практической реализации. Это обеспечивает возможность задания требуемого углового перемещения напряжением в пределах нормируемого уровня 0...10 В.

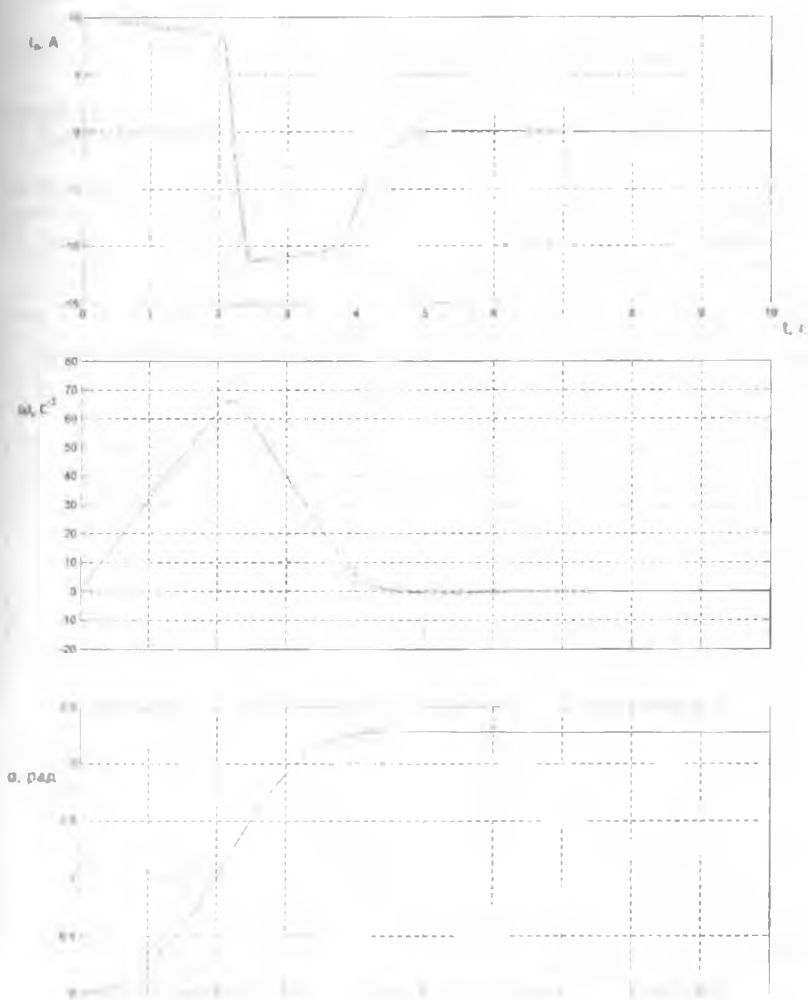
Исключение обратной связи по току также теоретически возможно, хотя для привода робота оно менее актуально, поскольку измерительный резистор имеет меньшие габариты, чем тахогенератор и может располагаться в источнике питания (не на подвижном звене). Это обеспечивается при больших по модулю значениях полюсов. Соответственно, переходный процесс получается более коротким (для исследуемого привода примерно 0,4 с). Однако коэффициенты усиления в цепях обратной связи по углу и скорости получаются чрезвычайно большими (до  $4,5 \cdot 10^5$  по углу и 80 по скорости), что делает невозможной практическую реализацию привода. Требуемый угол поворота задается в этом случае высоким напряжением, что приводит к ограничению сигнала ошибки усилителем

и переходу системы в нелинейный режим. Анализ показал возможность возникновения в системе предельных циклов (автоколебаний) с большой амплитудой.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что для приводов манипуляционных роботов с невысокими скоростями перемещения можно построить привод постоянного тока, синтезированный методом размещения полюсов, без обратной связи по скорости.



**Рисунок 2 – Кривые изменения тока  $I_{Я}$ , угловой скорости  $\omega$  двигателя и угла поворота выходного звена  $\alpha$  в переходном процессе**



**Рисунок 3 – Кривые изменения тока  $I_a$ , угловой скорости  $\omega$  двигателя и угла поворота выходного звена  $\alpha$  в переходном процессе при кратных значениях полюсов**

**Список цитированных источников**

1. Филипс, Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филлипс, Р. Харбор.– М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 356 с.
2. Накано, Э. Введение в робототехнику: Пер. с японск / Э. Накано. – М.: Мир, 1988. – 334 с.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ВИНТ-ГАЙКА СКОЛЬЖЕНИЯ

Среди механизмов, применяемых для преобразования вращательного движения в поступательное, большую роль играют винтовые передачи. По своему назначению они подразделяются на грузовые и ходовые. Причём для обоих случаев характерно применение передач винт-гайка с трением скольжения (ВГС).

В процессе эксплуатации передач ВГС под действием различных факторов происходит изменение работоспособного состояния передачи, которое приводит к отказу устройства. Причём для грузовых передач характерным является отказ функционирования, что часто связано с поломками или заклиниванием отдельных узлов, а для ходовых передач – параметрические отказы, то есть передача становится неработоспособной с точки зрения требований, установленных техническими нормативами. Такими отказами являются нарушение точности передачи, падение КПД и другие повреждения, которые не ограничивают возможность дальнейшего функционирования передачи. Эти отказы наиболее часто встречаются в тяговых устройствах металлорежущих станков, которые обеспечивают точность обработки деталей, причём до 60% всех отказов в передачах ВГС являются отказы по параметру точность перемещения [1].

Оценку параметрических отказов передач ВГС можно производить по методике, предложенной профессором, д.т.н. А.С.Прониковым, используя предложенную им общую схему потери работоспособности изделия [2], определяются основные показатели надёжности: вероятность безотказной работы  $P(t)$  и коэффициент запаса надёжности по выходному параметру  $K_T$ .

Вероятность безотказной работы будет определяться по формуле:

$$P(t) = 0,5 + \Phi \left( \frac{\delta - \sum \Delta_i}{\sqrt{\sum \sigma_i^2}} \right), \quad (1)$$

где  $\Phi$  – нормированная функция Лапласа;  $\delta$  – допуск на выходной параметр;  $\sum \Delta_i$  – суммарное значение систематических составляющих погрешностей, формирующих выходной параметр;  $\sigma_i$  – значение средних квадратических отклонений погрешностей, формирующих выходной параметр.

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  изделия не всегда является достаточной для оценки параметрического отказа изделия, так как при наличии запаса надёжности изделия  $\delta_T$  по выходному параметру значение показателя  $P(t)$  стремится к 1, в этом случае необходимо использовать коэффициент запаса надёжности  $K_T$ . Когда  $K_T=1$ , тогда наступает параметрический отказ.

Коэффициент запаса надёжности по выходному параметру рассчитывается по формуле:

$$K_T = \frac{\delta}{\delta - \delta_T}, \quad (2)$$

где  $\delta_T$  – запас надёжности по выходному параметру.

Запас надёжности по выходному параметру определяется по формуле:

$$\delta_T = \delta - \sum \Delta_i - K_p \cdot \sqrt{\sum \sigma_i^2}, \quad (3)$$

где  $K_p$  – квантиль нормального распределения.

На погрешность перемещения передачи ВГС оказывают следующие основные факторы:

- погрешность изготовления винтовой пары ( $\Delta_1$ );
- погрешность перемещения, вызванная упругими деформациями ( $\Delta_2$ );
- погрешность перемещения, вызванная тепловым расширением металла вследствие действия в винтовой паре сил трения, приводящие к нагреву металла ( $\Delta_3$ ).

При оценки погрешности изготовления передачи учитывается накопленная погрешность перемещения (для базовой длины перемещения 100, 200, 300 мм), которая зависит от класса точности винта (0, 1, 2, 3 и 4 по ГОСТ 9562-81), места расположения гайки (величина перемещения), способа нагружения и вида опор.

Для оценки первого параметра можно использовать следующую линейную зависимость:

$$\Delta_1 = a \cdot x \cdot c, \quad (4)$$

где  $a$  – параметр, учитывающий начальную погрешность в зависимости от класса точности;  $x$  – величина перемещения (положения гайки), мм;  $c$  – приведённый усреднённый коэффициент влияния, который представлен в таблице 1.

Таблица 1- Накопленная погрешность перемещения винта, мкм

Отклонение	Класс точности					с
	0	1	2	3	4	
Накопленная погрешность перемещения $\Delta P_{300}$	5	9	18	35	70	4,5
Накопленная погрешность перемещения $\Delta P_{200}$	3,3	6	12	23,4	46,6	3
Накопленная погрешность перемещения $\Delta P_{100}$	1,7	3	6	11,7	23,4	1,5

Для оценки погрешностей  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  используем зависимости, представленные в [3].

При действии всех этих факторов на винтовую передачу произойдёт значительное изменение погрешности перемещения, которую можно рассчитать по формуле:

$$\Delta = a \cdot x \cdot c + \frac{Q}{E \cdot F} \cdot (1 + k) + \beta \cdot x \cdot \Delta T \cdot \xi, \quad (5)$$

где  $Q$  – осевая нагрузка на передачу, Н;  $E$  – модуль упругости, Н/мм<sup>2</sup>;  $F$  – поперечное сечение винта, мм<sup>2</sup>;  $k$  – коэффициент, учитывающий увеличение погрешности перемещения вследствие скручивания ходового винта;  $\beta$  – коэффициент теплового расширения, 1/°C;  $\Delta T = (T_H - T_i)$  – разность между текущей ( $T_i$ ) и начальной ( $T_H$ ) температур винта, °C;  $\xi$  – коэффициент, учитывающий способ крепления винта в опорах (для одноопорного способа крепления винта  $\xi = 1$ ).

Используя формулу 5 можно определить вероятность безотказной работы передачи по параметру точность перемещения:

$$P(t) = \frac{\alpha \cdot x \cdot c + \frac{Q \cdot x}{\delta \cdot F} (1+k) + \beta \cdot x \cdot \Delta T \cdot \xi}{\sqrt{\sum \sigma_i^2}} \quad (6)$$

Запас надёжности по параметру точность перемещения составит:

$$\delta_T = \delta - \left( \alpha \cdot x \cdot c + \frac{Q \cdot x}{\delta \cdot F} (1+k) + \beta \cdot x \cdot \Delta T \cdot \xi \right) - K_P \cdot \sqrt{\sum \sigma_i^2} \quad (5)$$

Моделирование влияния силовых и тепловых факторов на параметр погрешность перемещения проводилось на примере тягового устройства с передачей ВГС. В качестве примера рассматривался станок ВТ80 с параметром винта:

- диаметр винта  $D=32$  мм;
- шаг винта  $P=6$  мм;
- резьба трапецеидальная;
- осевая нагрузка равна  $Q=500$  Н;
- разность температур  $\Delta T=10$  °С.

На рисунке 1 представлены зависимости для оценки погрешности перемещения тягового устройства с учётом влияния основных факторов: погрешность изготовления винтовой пары, погрешность перемещения, вызванная упругими деформациями и погрешность перемещения, вызванная тепловыми деформациями винтовой пары.

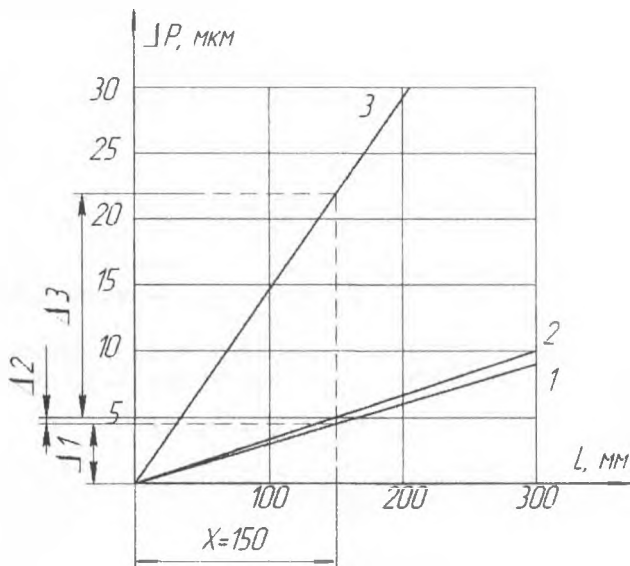


Рисунок 1 - зависимость погрешности перемещения от действия основных факторов

Линия 1 – линия, которая характеризует погрешность перемещения, вызванную максимально накопленной погрешностью изготовления винта;

Линия 2 – линия, которая характеризует погрешность перемещения, вызванную погрешностью изготовления винта и влияния упругих деформаций;

Линия 3 – линия, которая характеризует погрешность перемещения, вызванную погрешностью изготовления винта, влиянием упругих деформаций и тепловых расширений.

Для винта первого класса точности по ГОСТ 9562-81 погрешность перемещения рассматривается на отрезке 150 мм (см. рисунок 1).

$\Delta 1$  – погрешность перемещения вследствие неточности изготовления винта составляет 4,5 мкм;

$\Delta 2$  – погрешность перемещения соответствующего винта, вызванная упругими деформациями составляет 0,5 мкм;

$\Delta 3$  – погрешность перемещения вызванная тепловыми деформациями винта составляет 17 мкм.

Суммарная погрешность перемещения на данном участке составит 22 мкм.

### **Выводы**

1. Установлено, что основные факторы, влияющие на параметр точности перемещения: погрешность изготовления винта, упругие деформации и тепловые расширения винта приводят к уменьшению точности перемещения тягового устройства, и как следствие, к увеличению вероятности появления параметрических отказов. Причём степень влияния этих факторов зависит от условий работы устройства.

2. Лимитирующим фактором при обработке с большой нагрузкой  $Q$  и на максимальной величине хода тягового устройства являются погрешности, вызванные упругими деформациями, а при чистовой обработке – погрешности, вызванная тепловыми расширениями.

3. С помощью составленной модели формирования отказа можно прогнозировать погрешность перемещения, вызванной тепловыми и силовыми факторами.

### **Список цитированных источников**

1. Турпаев А.И. Винтовые механизмы и передачи / А.И. Турпаев – М.: Машиностроение. 1982. – 223 с.

2. Проников А.С. Надёжность машин / А.С.Проников – М.: Машиностроение. 1978. – 592 с.

3. Проников А.С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем в 3-х т. Т.2 / А.С.Проников, Е.И. Борисов., В.В. Бушуев – М.: Машиностроение. 1995. – 320 с.

УДК 621.91.002

*Ниничук А.В.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Медведев О.А.*

## **АНАЛИЗ ПРИЕМЛЕМОСТИ ПРИГОНОЧНЫХ РАБОТ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МАШИН**

Основными задачами, которые решаются при расчетах размерных цепей, в случае достижении точности их замыкающих звеньев методами пригонки, являются: расчет величины компенсации (части суммы расширенных допусков составляющих звеньев, подлежащей компенсации пригонкой компенсато-

ра); расчет размера первоначально изготовленных для всех экземпляров изделия компенсаторов; расчет диапазона изменения размера компенсаторов при пригонке (максимального припуска на пригонку). Эти параметры должны определяться с учетом обеспечения минимальной металлоемкости первоначально изготовленных компенсаторов и минимальной трудоемкости их последующей пригонки. Анализ традиционных методик расчета этих параметров [1, 2, 3 и др.] показал, что в них не учитываются погрешности выполнения сборочных работ и оснастки, что позволяет их использовать только для предварительных расчетов. Так же в них имеются некоторые неточности.

В традиционных методиках величину компенсации предлагается определять по формуле:

$$T_K = \sum_{j=1}^n TA_j - TA_{\Delta}, \quad (1)$$

где  $TA_j$  – расширенный, экономически приемлемый допуск  $j$ -го составляющего звена,  $TA_{\Delta}$  – требуемый допуск замыкающего звена,  $n$  – число составляющих звеньев в цепи.

При этом в первое слагаемое предписывается включать и расширенный, экономически приемлемый допуск компенсатора, определенный аналогично допускам других составляющих звеньев.

Такое определение величины компенсации не оправдано по следующим причинам:

- величина компенсации и размер компенсатора формируются в результате предварительной сборки изделия, когда компенсатор не используется, а на место замыкающего звена устанавливается эталон. Поэтому допуск компенсатора не может учитываться при определении величины компенсации;

- целесообразно определять допуск первоначального изготовления компенсатора во взаимосвязи с другими погрешностями пригоночных работ, что позволит расширить часть величины компенсации, которую можно компенсировать без пригонки компенсатора;

- неоправданное увеличение величины компенсации, путем включения в нее расширенного допуска компенсатора приводит к необоснованному увеличению припуска на пригонку.

Кроме того предлагаемая методика расчетов не учитывает влияние на точность замыкающего звена конструкторской размерной цепи таких погрешностей, возникающих при определении размера требуемого компенсатора, как погрешности сборочной оснастки, и погрешности сборочных работ (установки эталона, измерения местоположения компенсатора, пригонки).

С учетом сказанного можно сделать вывод о недостаточной объективности и рациональности рассмотренных методик расчета компенсаторов и необходимости усовершенствования методик расчета сборочных размерных цепей при достижении точности сборки методом пригонки. Это позволит обоснованно установить требования к точности сборочных работ и сборочной оснастки, а также рационально определить предельные размеры изначально изготовленного компенсатора и максимальный припуск на пригонку.

Системный анализ влияния компенсаторов на замыкающие звенья линейных сборочных конструкторских размерных цепей для машин разного назначения позволил выявить несколько типовых схем компенсации расширенных допусков составляющих звеньев, наглядно отражающих это влияние для всех



возможных случаев. Каждая из таких схем построена на основе трехзвенной линейной размерной цепи, математически тождественной реальной сборочной размерной цепи, и включает суммарное составляющее звено  $A_{\Sigma}$ , компенсатор  $K$  и замыкающее звено  $A_{\Delta}$ . Суммарное составляющее звено является алгебраической суммой всех увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев реальной цепи (кроме компенсатора), а его допуск  $TA_{\Sigma}$  равен арифметической сумме допусков составляющих звеньев (кроме компенсатора). Предельные размеры суммарного составляющего звена можно определить по формулам, аналогичным тем, которые используются для расчета предельных размеров замыкающего звена методом максимума – минимума:

$$A_{\Sigma \max} = \sum_{j=1}^n \bar{A}_{j \max} - \sum_{j=1}^m \bar{A}_{j \min} \quad (2)$$

$$A_{\Sigma \min} = \sum_{j=1}^n \bar{A}_{j \min} - \sum_{j=1}^m \bar{A}_{j \max}$$

где  $A_j$  – предельный размер  $j$  – того уменьшающего или увеличивающего звена конструкторской цепи;  $n$  и  $m$  – число увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев, соответственно (кроме компенсатора).

При этом все многообразие реальных конструкторских цепей может быть сведено к трем вариантам математически тождественных трехзвенных цепей, отличающихся по влиянию компенсатора и суммарного составляющего звена на замыкающее звено (уменьшающий или увеличивающий компенсатор, уменьшающее или увеличивающее суммарное составляющее звено). Чтобы установить взаимосвязь между предельными размерами замыкающего звена, компенсатора и суммарного составляющего звена представим на схеме трехзвенной цепи каждое из этих звеньев его предельными размерами и полем допуска (рисунок 2). При этом границы суммарного допуска составляющих звеньев должны быть связаны с границами поля рассеяния замыкающего звена максимальным  $K_{\max}$  и минимальным  $K_{\min}$  размерами компенсатора. Эта связь должна обеспечить минимально возможную разницу между  $K_{\max}$  и  $K_{\min}$ , чтобы минимизировать припуск на пригонку и трудоемкость пригонки. Поэтому максимально достаточным номинальным размером первоначально изготовленного охватываемого компенсатора  $K_{\text{ном}}$  может быть размер между наиболее удаленной от поля допуска  $TA_{\Delta}$  границы  $TA_{\Sigma}$  до точки в пределах  $TA_{\Delta}$ , отстоящей на половину допуска первоначально изготовленного компенсатора  $TK/2$  от ближайшей к  $TA_{\Sigma}$  границе  $TA_{\Delta}$  (рисунок 2).

Как отмечалось ранее, поле рассеяния замыкающего звена конструкторской сборочной цепи для изделий после окончательной сборки будет равно полю рассеяния компенсаторов после пригонки  $\epsilon_k$ , которое будет сформировано в результате измерений полости под компенсатор при предварительных сборках изделий и пригонок компенсаторов к измеренным размерам. Для определения  $\epsilon_k$  следует выявить и решить технологическую сборочную размерную цепь, которая формируется на этапе предварительной сборки изделия. Замыкающим звеном в ней является размер полости под компенсатор, а составляющими звеньями, кроме размеров деталей изделия, также являются размеры используемой сборочной оснастки (эталоны замыкающего звена конструкторской цепи) и погрешности выполнения сборочных работ. При окончательной сборке экземпляра изделия из комплектующих деталей и пригнанного

компенсатора, отклонение замыкающего звена конструкторской цепи от эталона  $\Delta = A_{\Delta CD}$  будет равно отклонению размера пригнанного компенсатора от размера полости под компенсатор, сформированной и измеренной при предварительной сборке. 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 и звеньев, отсутствующих в конструкторской цепи. К ним относятся: погрешность изготовления эталона среднего значения замыкающего звена  $\varepsilon_3$ , погрешность установки эталона  $\varepsilon_{v3}$ , погрешность измерения полости под компенсатор  $\varepsilon_U$ , погрешность пригонки компенсатора  $\varepsilon_n$ .

Пример построения конструкторской сборочной размерной цепи для высоты  $A_3$  полости под пружину плунжерного насоса и технологической сборочной размерной цепи для высоты  $B_3$  полости под компенсатор приведен на рисунке 1

Технологическая цепь формируется при предварительной сборке насоса. Ее схема строится аналогично схеме конструкторской цепи, но кроме размеров комплектующих насос деталей в нее следует включить размер эталона  $B_5$  погрешность установки эталона  $B_4$  погрешность измерения полости под компенсатор  $B_1$ , которые влияют на величину требуемого компенсатора.

Технологическую цепь представим в схеме компенсации погрешностями, сумма которых определяет технологический допуск компенсатора  $\varepsilon_k$  и расположим его в пределах допуска замыкающего звена  $TA_3$  симметрично относительно  $A_{\Delta C}$ , потому что  $\varepsilon_k$  может быть компенсирован только за счет  $TA_1$ , и при размере эталона равном  $A_{\Delta C}$ , середина поля рассеивания компенсатора должна соответствовать середине поля рассеивания замыкающего звена

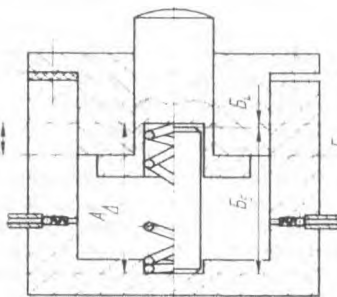


Рисунок 1 - Схемы сборочных размерных цепей плунжерного насоса

Таким образом, будет сформирована рациональная схема компенсации расширенного допуска составляющих звеньев, обеспечивающая минимально возможные затраты материала на первоначальное изготовление компенсаторов, минимально достаточный припуск на пригонку при обеспечении точности замыкающего звена  $A_3$ .

Схема компенсации, построенная по указанным принципам для конструкторской цепи с уменьшающим компенсатором и увеличивающим суммарным составляющим звеном, представлена на рисунке 2.

На основе схемы компенсации условие достижения требуемой точности замыкающего звена  $A_3$  можно записать следующим образом:

$$TA_3 > \varepsilon_k + TK = \varepsilon_3 + \varepsilon_{v3} + \varepsilon_U + \varepsilon_n + TK. \quad (3)$$



**Рисунок 2 - Схема компенсации суммарного допуска составляющих звеньев путем пригонки уменьшающего компенсатора при увеличивающем суммарном составляющем звене**

Как видно из схемы компенсации на рисунке 2, при максимальном значении  $A_{\Sigma \max}$  для получения годного значения замыкающего звена  $A_{\Delta \max}$  с минимальными затратами материала на компенсатор достаточно иметь изначально (до пригонки) размер компенсатора  $K_{\max} \pm TK/2$ . При минимальном значении суммарного составляющего звена  $A_{\Sigma \min}$  компенсатор может быть пригнан к минимально возможному размеру  $K_{\min}^{*EK}$  (если все погрешности сборочных работ будут действовать в сторону уменьшения размера компенсатора и смещению его левой границы на  $\epsilon_k/2$  вправо от  $A_{\Delta c}$ ). В соответствие со схемой компенсации, номинал первоначально изготовленных уменьшающих компенсаторов  $K_{\max}$  и номинал минимально возможного компенсатора  $K_{\min}$ , можно определить по формулам:

$$K_{\max} = A_{\Sigma \max} - A_{\Delta \max} + TK/2 \quad (4)$$

$$\bar{K}_{\min} = A_{\Sigma \min} - A_{\Delta sp} + TK/2 - \epsilon_k/2 \quad (5)$$

Из схемы компенсации видно, что для попадания замыкающего звена  $A_{\Delta}$  в пределы допуска  $TA_{\Delta}$  пригонка первоначально изготовленного компенсатора не потребуется для тех экземпляров изделий, для которых измеренный при предварительной сборке размер полости под компенсатор  $K_u$  окажется больше величины  $K_{\max} - \epsilon_k$  ( $K_u > K_{\max} - \epsilon_k$ ).

Максимально возможный припуск на пригонку  $Z_{\max}$  придется снять, в том случае, если компенсатор с изначальноным размером  $K_{\max}$  потребует пригнать в размер  $K_{\min}$ . Выражение для  $Z_{\max}$  получим, вычитая почленно формулу (5) из (4)

$$Z_{\max} = TA_{\Sigma} - TA_{\Delta}/2 + TK + \epsilon_k/2 \quad (6)$$

Как видно из последнего равенства, с увеличением допусков составляющих звеньев, допуска первоначального изготовления компенсатора, погрешностей пригоночных работ растёт максимальный припуск, а, следовательно, и время на пригонку.

Приемлемость принятых при проектировании технологии сборки сборочной оснастки, средства измерения полости под компенсатор, метода пригонки компенсатора, допуска первоначального изготовления компенсатора для дос-

тижения точности замыкающего звена  $A_d$  следует оценивать комплексно по условию (3). Погрешность изготовления эталона следует принимать равной стандартному допуску по 7...10 качеству с последующим уточнением для соблюдения условия (3). Погрешность установки эталона следует определять, как возможный перекося его рабочих поверхностей относительно сопрягаемых с ним поверхностей комплектующих деталей, или как погрешность формы рабочих поверхностей эталона. Погрешность измерения полости под компенсатор следует принимать по таблицам справочников [4]. Погрешность пригонки следует определять по таблицам точности обработки [5].

Применение этой зависимости позволяет сократить металлоемкость первоначально изготовленных компенсаторов и трудоемкость из пригонки. Данная методика может быть полезна инженерам-технологам, занимающимся проектированием техпроцессов сборки машин.

#### Список цитированных источников

1. Палей М.А. и др. Допуски и посадки: Справочник: В 2ч. Ч. 2. – 8-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2001. – 608 с.
2. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985 – 496 с.
3. Солонин И.С., Солонин С.И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. – М.: Машиностроение, 1980 – 110 с.
4. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении: Справочник в 2 т. М.: Издательство стандартов, 1989. – Т2: Контроль деталей – 208 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя в 2-х т./Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 5-е изд. перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2001.

УДК 621.92.001.891.57:744

*Рудский Р.А., Конюхов Д.А.*

*Научный руководитель: старший преподаватель Морозова В.А.*

### 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В ГРАФИЧЕСКОМ РЕДАКТОРЕ AUTODESK INVENTOR 2015

Мы, студенты второго курса машиностроительного факультета, обучающиеся по специальности 1-37 01 07 «Автосервис», решили создать трехмерную модель кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания в графическом редакторе AUTODESK INVENTOR 2015. Мы выбрали данный механизм, т.к. наша специальность связана с автомобилями, в том числе и с их двигателями. При изучении курса «Инженерная графика» мы работали в графическом редакторе КОМПАС 3D – по заданиям строили твердотельные модели, создавали на их основе чертежи, выполняли сборки и сборочные чертежи. Но нам захотелось самостоятельно изучить возможности другого графического редактора AUTODESK INVENTOR 2015. В итоге у нас получилась трехмерная модель кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания, которую можно использовать для последующей презентации при изучении курса лекций «Автомобильные двигатели».

**Назначение и устройство кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания.** Кривошипно-шатунный механизм (далее сокращенно – КШМ) – механизм двигателя. Основным назначением КШМ является преобразо-

вание возвратно-поступательных движений поршня цилиндрической формы во вращательные движения коленчатого вала в двигателе внутреннего сгорания и наоборот.

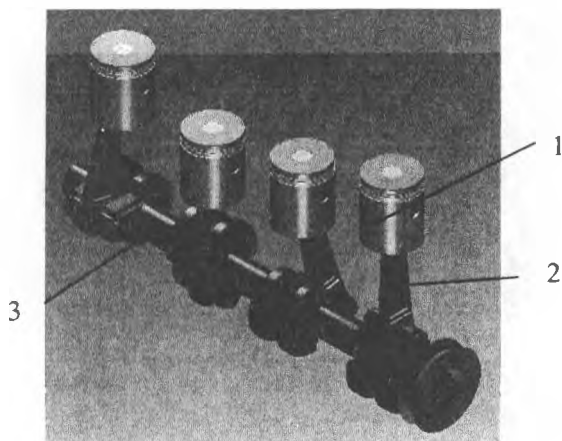


Рисунок 1 – Схема КШМ

Обозначение позиций на рис. 1:

- 1 – поршень
- 2 – шатун
- 3 – коленчатый вал

*Поршень* имеет вид цилиндра, изготовленного из сплавов алюминия. Основная функция этой детали заключается в превращении в механическую работу изменение давления газа, или наоборот, – нагнетание давления за счет возвратно-поступательного движения.

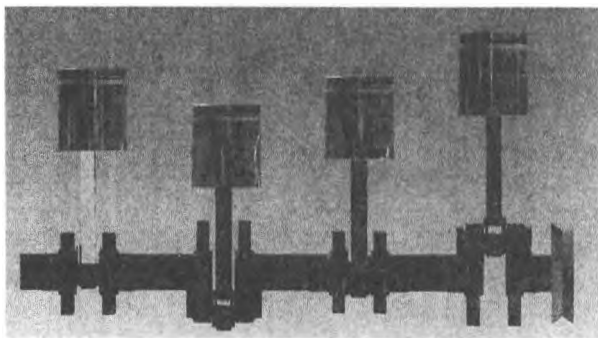
Изготовленный штамповкой или кованый стальной (реже – титановый) *шатун* имеет шарнирные соединения. Основная роль шатуна состоит в передаче поршневого усилия к коленчатому валу. Конструкция шатуна предполагает наличие верхней и нижней головки, а также стержня с двутавровым сечением.

Изготовленный из стали или чугуна высокой прочности *коленчатый вал* состоит из шатунных и коренных шеек, соединенных щеками и вращающихся в подшипниках скольжения. Щеки создают противовес шатунным шейкам. Основная функция коленчатого вала состоит в восприятии усилия от шатуна для преобразования его в крутящий момент.

**Моделирование в графическом редакторе AUTODESK INVENTOR 2015.** Основными операциями, применяемыми при моделировании отдельных трехмерных составляющих механизма, явились операции выдавливания, вычитания, вращения, зеркальное отражение, поворот, отверстие, выполнение сопряжений и фасок.

Инструментальная палитра AUTODESK INVENTOR 2015 имеет максимально простой «спартанский» вид. Для создания эскиза затрачивалось минимальное количество времени. Мощный анализатор среды позволяет хорошо распознавать эскиз, обращаться к некоторой его части.

INVENTOR позволяет с помощью функции присвоения материала детали, изменения оптических свойств максимально реалистично ее представить (рисунок 2).



*Рисунок 2 – КШМ*

Сборка деталей в узле осуществляется максимально просто. Для позиционирования детали в узле в инструментальной палитре выбирается инструмент «Зависимости», с помощью анализа пересечений осуществляется проверка правильности сопряжений. AUTODESK INVENTOR 2015 позволяет, как создавать детали непосредственно в контексте узла, так и вставлять в узел существующие детали.

Далее законченная модель приспособления была приведена в движение, что позволило проследить работу механизма, правильность выполненных сопряжений (зависимостей).

Результат нашей работы вы видите на рис. 3.

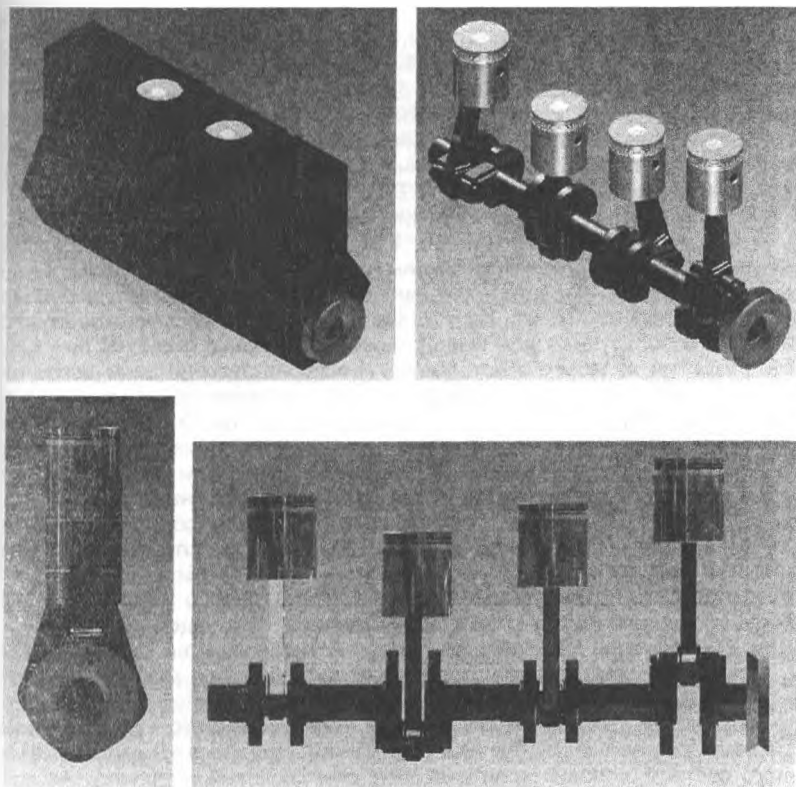
Результатом проделанной работы стала трехмерная модель кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания в графическом редакторе AUTODESK INVENTOR 2015.

В настоящее время значительное число конструкторов-машиностроителей в корне поменяли свой подход к процессу проектирования, перейдя от двумерных систем автоматизированного проектирования к трехмерным, реализующим идею выполнения компьютерных моделей с твердотельными свойствами. Этому требуют конкуренция и необходимость сокращения сроков проектирования. Для большинства конструкторов возможность выразить свои разработки в трехмерном виде означает большую творческую свободу и эффективность.

Твердотельное моделирование – более естественный способ выразить суть изделия. Лучшее визуальное представление изделия помогает и на последующих стадиях проекта. Например, из модели можно автоматически получить изображение всех компонентов в разобранном виде, и использовать его в качестве иллюстрации в инструкции по сборке.

Тонированные изображения, полученные по объемным моделям, более наглядны по сравнению с двумерными чертежными проекциями, а значит – более предпочтительны для презентаций и технических статей.

В дальнейшем эту трехмерную модель КШМ можно использовать для последующей презентации при изучении курса лекций «Автомобильные двигатели».



**Рисунок 3 – Общий вид КШМ**

**Список цитированных источников**

1. Вырубов Д.Н. Двигатели внутреннего сгорания: теория поршневых и комбинированных двигателей / Д.Н. Вырубов и др. – М.: Машиностроение, 1983.
2. Красноперов С.В. Самоучитель Autodesk Inventor (+ CD-ROM) – Спб.: БХВ-Петербург, 2008. – 576 с.

УДК 629.3.082.2

**Трофимов А.О.**

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

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ОЦЕНКИ ПРОЕКТОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Завершающей стадией технологического проектирования автотранспортных предприятий (АТП) является анализ технико-экономических показателей, который проводится с целью выявления степени технического совершенства и экономической целесообразности разработанных проектных решений. Эф-

фективность проекта оценивается путем сравнения его технико-экономических показателей с нормативными (эталонными) показателями, а также с показателями аналогичных проектов и передовых действующих предприятий.

Рассмотрим далее различные методики оценки технико-экономических показателей технологического проектирования АТП и выполним их сравнение

Для оценки результатов технологического проектирования Гипроавтотрансом [1] разработаны технико-экономические показатели для различных предприятий автомобильного транспорта. В частности, для автономных АТП установлены следующие технико-экономические показатели: число производственных рабочих и рабочих постов на 1 автомобиль, площадь производственно-складских, административно-бытовых помещений на 1 автомобиль (в м<sup>2</sup>), площадь стоянки на 1 место хранения (в м<sup>2</sup>), площадь территории предприятия на 1 автомобиль (в м<sup>2</sup>). Кроме оценки проектов, технико-экономические показатели используются для выполнения укрупненных расчетов при выборе путей развития и совершенствования производственно-технической базы предприятий, при определении необходимости и целесообразности расширения и реконструкции АТП. Техничко-экономические показатели представляют собой удельные значения нормативов численности производственных рабочих (штатных), постов, площадей производственных и административно-бытовых-помещений для наиболее характерных (эталонных) условий: – списочное число технологически совместимого подвижного состава – 300; – климатический район – умеренный; – категория условий эксплуатации – I; – среднесуточный пробег, км – 250; – условия хранения – открытая стоянка без подогрева при 50% независимого выезда автомобилей по углом 90°; – водоснабжение, теплоснабжение, электроснабжение – от городских сетей [1].

Для АТП, условия эксплуатации и размер которого отличаются от эталонных, определение показателей производится с помощью коэффициентов, которые учитывают влияние следующих факторов: списочное число технологически совместимого подвижного состава, тип подвижного состава, наличие прицепного состава к грузовым автомобилям, среднесуточный пробег подвижного состава, условия хранения, категория условий эксплуатации, климатический район.

Значения приведенных удельных технико-экономических показателей для условий проектируемого предприятия определяются умножением удельного показателя для эталонных условий на соответствующие коэффициенты, учитывающие отличие конкретных условий от эталонных.

Абсолютные значения нормативных показателей определяются произведением соответствующего приведенного удельного показателя на списочное число подвижного состава, одинакового по классу или грузоподъемности.

По методике, изложенной в [2] уровень прогрессивности технологической проработки проекта АТП оценивается по комплексу технико-экономических показателей: численности производственных рабочих на 1 млн. км пробега автомобилей; количеству рабочих постов на 1 млн. км пробега; площади производственно-складских помещений на единицу подвижного состава; площади вспомогательных (административно-бытовых) помещений на единицу подвижного состава; площади стоянки на одно автомобиле-место хранения; площади территории предприятия на единицу подвижного состава.

Числовые значения удельных технико-экономических показателей рассчитаны для наиболее характерных (эталонных) условий работы предприятия (аналогичны предыдущей методике).



Для АТП, условия работы в которых отличаются от указанных, значения удельных показателей приводят к условиям работы проектируемого предприятия путем умножения их на коэффициенты, учитывающие фактическое списочное количество технологически совместимого подвижного состава, тип подвижного состава, наличие прицепного состава, среднесуточный пробег подвижного состава, условия хранения подвижного состава, категорию условий эксплуатации и природно-климатические условия эксплуатации подвижного состава.

Значения удельных технико-экономических показателей для проектируемого АТП по методике [2] определяют из выражений:

$$p^{\Pi} = \frac{p^{\Gamma}}{L^{\Gamma} \cdot A_{\text{т}}}$$

$$x^{\Pi} = \frac{X^{\Gamma}}{L^{\Gamma} \cdot A_{\text{т}}}$$

$$f_{\text{ПР}}^{\Pi} = \frac{F_{\text{ПР}}^{\Gamma}}{A_{\text{т}}}$$

$$f_{\text{ВС}}^{\Pi} = \frac{F_{\text{ВС}}^{\Gamma}}{A_{\text{т}}}$$

$$f_{\text{С}}^{\Pi} = \frac{F_{\text{С}}^{\Gamma}}{A_{\text{т}}}$$

$$f_{\text{Т}}^{\Pi} = \frac{F_{\text{Т}}^{\Gamma}}{A_{\text{т}}}$$

где  $p^{\Pi}, x^{\Pi}, f_{\text{ПР}}^{\Pi}, f_{\text{ВС}}^{\Pi}, f_{\text{С}}^{\Pi}, f_{\text{Т}}^{\Pi}$  – соответственно значения удельных технико-экономических показателей проектируемого предприятия: численности производственных рабочих на 1 млн. км пробега подвижного состава; количества рабочих постов на 1 млн. км пробега; площади производственно-складских помещений на единицу подвижного состава; площади вспомогательных помещений на единицу подвижного состава; площади стоянки на одно место хранения; площади территории предприятия на единицу подвижного состава;  $p^{\Gamma}, X^{\Gamma}, F_{\text{ПР}}^{\Gamma}, F_{\text{ВС}}^{\Gamma}, F_{\text{С}}^{\Gamma}, F_{\text{Т}}^{\Gamma}, L^{\Gamma}$  – абсолютные значения для проектируемого предприятия численности производственных рабочих, чел.; количества рабочих постов; площади производственно-складских помещений, м<sup>2</sup>; площади вспомогательных помещений, м<sup>2</sup>; площади стоянки, м<sup>2</sup>; площади территории предприятия, м<sup>2</sup>; списочного числа подвижного состава соответствующей технологически совместимой группы и годового пробега автомобиля соответствующей технологически совместимой группы, млн. км.

Значения технико-экономических показателей работы проектируемого АТП не должны превышать приведенных эталонных. В противном случае необходимо пересмотреть принятые решения на основе более прогрессивных нормативов, рационализации планировки АТП, увеличения числа смен работы производственных подразделений, использования постов зон ТО для проведения других работ и т.п.

Выполним сравнение рассмотренных выше методик.

Методика, разработанная Гипроавтотрансом [1] и методика, представленная в [2] имеют одинаковые эталонные характеристики АТП и условия работы подвижного состава.

Отличие заключается в том, что в методике [1] все удельные ТЭП, по которым происходит сравнение, определяются на один автомобиль, а по методике [2] такие же ТЭП, как численность производственных рабочих и количество

рабочих постов определяется на 1 млн. км пробега, остальные удельные ТЭП также определяются на единицу подвижного состава.

Такой подход является более правильным, потому что с увеличением годового пробега возрастает количество технических воздействий и годовая трудоемкость ТО и ТР, а это в свою очередь увеличивает количество производственных рабочих и количество рабочих постов.

Другим недостатком методики [1] является то, что в качестве эталонных моделей грузовых и легковых автомобилей, автобусов приняты устаревшие модели, которые в настоящее время не выпускаются. Нормативная трудоемкость ТО и ТР, нормативные пробеги до ТО, списания данного ПС значительно отличаются от современного подвижного состава, особенно по автобусам МАЗ.

Для сравнения методик определим эталонные значения ТЭП для проекта АТП. Данные по ПС проекта АТП и условиям его работы приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Данные по подвижному составу

Тип и модель автомобиля, прицепа, полуприцепа	МАЗ-1034	МАЗ-1035	МАЗ-256	МАЗ-152
Списочное количество ПС	50	30	50	30
Среднесуточный пробег, км	250	250	260	300
Время в наряде, час	12	12	12	12
Число дней работы ПС в году	365	365	365	365
Средний пробег ПС с начала эксплуатации, тыс км	0	0	150	200
Климатический район	Умеренно теплый			
Категория условий эксплуатации	III			

Для сравнения методик [1] и [2] переведем суммарные нормативных значений ТЭП полученные по методике [1] к удельным значениям: для числа производственных рабочих и количества рабочих постов – на 1 млн. км пробега, а также для площади производственно-складских помещений, площади административно-бытовых помещений, площади стоянки, площади территории предприятия – на единицу ПС (см. табл. 2).

Таблица 2 – Сравнение удельных эталонных ТЭП для проектируемого предприятия по различным методикам

Показатель	Удельные эталонные ТЭП для проектируемого предприятия по методике [2]	Удельные эталонные ТЭП для проектируемого предприятия по методике [1]	Расхождение удельных ТЭП методики [1] по сравнению с методикой [2], %
Число производственных рабочих, на 1 млн. км пробега, чел	6,42	6,23	-2,87
Количество рабочих постов на 1 млн. км пробега	1,44	1,93	33,46
Площадь производственно-складских помещений на единицу ПС, м <sup>2</sup>	27,05	33,01	22,04
Площадь вспомогательных (административно-бытовых) помещений на единицу ПС, м <sup>2</sup>	12,29	13,52	10,02
Площадь стоянки на одно автомобиле-место хранения, м <sup>2</sup>	51,18	58,13	13,57
Площадь территории предприятия на единицу ПС, м <sup>2</sup>	163,77	192,85	17,76

Методика [2] предъявляет более жесткие требования по количеству рабочих постов на 1 млн. км пробега, площади производственно-складских помещений на единицу ПС, площади административно-бытовых помещений на единицу ПС, площади стоянки на одно автомобиле-место хранения, площади территории предприятия на единицу ПС, но менее жесткие - по числу производственных рабочих на 1 млн. км пробега (см. табл. 2).

С целью получения более высоких экономических показателей при проектировании и строительстве новых АТП, снижения затрат на строительство целесообразно использовать методику [2].

С учетом изложенного, предлагается для оценки ТЭП проектов АТП использовать методику [2], которая более полно учитывает особенности современного ПС.

#### **Список цитированных источников**

1. Напольский Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания: Учебник для вузов. – М. : Транспорт, 1993. – 271 с.

2. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: Учебник / М.М. Болбас, Н.М. Капустин, А.С. Савич и др.; Под ред. М. М. Болбаса - Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2004. - 528 с.

УДК 67.02

*Филатов В.С.*

*Научный руководитель: ст. преподаватель Кудрицкий Я.В.*

### **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТАРНОГО МАРШРУТА ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Целью данной работы является изучение возможностей для формализации получения планов обработки типовых поверхностей деталей, с использованием базы данных по типовым методам получения заданных параметров точности, таблицам допусков размеров и коэффициентам уточнения.

Объектом исследования являются методики автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении.

В работе используется следующий общий план подготовки и реализации поставленной задачи:

1. Определяем критерии выбора:

1.1 Вид материала заготовки (Сталь/Чугун);

1.2. Тип поверхности (Наружная/Внутренняя);

1.3. Диапазон размеров обрабатываемых поверхностей (3...400 мм);

1.4. Допустимые отклонения размеров поверхности детали (IT5.. IT14);

1.5. Допустимое отклонение поверхности заготовки (IT14...IT17);

1.6. Допустимые диапазоны коэффициентов уточнения (Чугун: 2,56...6,55; 2,56...4,1; Сталь: 2,56...4,1; 1,61.. 2,56) [1], [2].

Критерии выбора будут являться основанием для выполнения расчетов. При разработке программы их следует поместить в блок исходных данных.

2. Предварительно разделяем программу на составные части. Признаком разделения может служить группа математических, логических или других операций, результатом выполнения которых будет промежуточное решение.

Количество составных частей выбирается произвольно. При этом учитывается удобство составления формул и логических выражений.

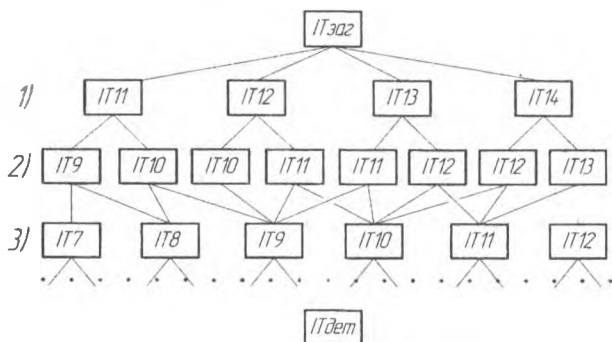
3. При значительном количестве возможных результатов, целесообразно каждому возможному состоянию изначально присвоить свой числовой код. Тип и вид кода выбирается произвольно.

Например, в данной задаче может рассматриваться следующее сочетание влияющих признаков:

3.1 Укрупненная характеристика метода обработки, отражающая порядок выполнения определенного перехода. Данному признаку можно присвоить цифровые индексы от 1 до...необходимого значения (для нашей задачи 1...7). Этот индекс в коде будет указан первым, и определять номер перехода в порядке выполнения.

3.2 Вторым можно указать индекс подвида обработки, связанный с номером качества, например черновая (IT14) – 114; предварительная (IT13) – 113; предварительная или получистовая (IT12) – 112; получистовая, или чистовая (IT11) – 111 и т.д. Количество самих кодов и вторых индексов в коде будет соответствовать количеству возможных вариантов. Это связано с наличием диапазонов для коэффициентов уточнения Ку, что предполагает неоднозначность.

Например, при выполнении первого перехода механической обработки возможны следующие варианты:  $\frac{\delta_c}{\delta_{c1}}$ ;  $\frac{\delta_c}{\delta_{c2}}$ ;  $\frac{\delta_c}{\delta_{c3}}$ ;  $\frac{\delta_c}{\delta_{c4}}$ . Соответственно, присваиваем коды: 111; 112; 113; 114 (т.е. первый переход + получаемая точность размера по Ку).



**Рисунок 1 – Схема к определению количества и состава технологических переходов**

Для вторых переходов варианты кодов будут: 2119; 21110; 21210; 21211; 21311; 21312; 21412; 21413. Аналогично можно записать коды для третьих и последующих переходов.

4. Записываем возможные методы механической обработки, соответственно каждому коду. Например, для 114 – «Черновое точение», или «Черновое растачивание», или «Сверление» – в зависимости от определённых условий, которые будут определяться далее.

При таком подходе, расчёт по каждому критерию будет выполняться отдельно. Это достаточно удобно, так как, расчётные блоки подобны и их можно 116

копировать с незначительными изменениями. После решения частной задачи в каждом блоке выполняется объединение результатов в один итоговый блок.

5. Разрабатываем алгоритм решения, составляем блок – схему.

6. Реализуем решение в табличном редакторе Excel.

7. Формируем исходные данные:  $d_{заг}$ ;  $d_0$ ;  $\delta_{заг}$ ;  $\delta_0$ ; тип поверхности (Внутренняя цилиндрическая/Наружная цилиндрическая); Материал (Сталь/Чугун)

8. В первом блоке выполняем определение допустимых отклонений для квалитетов от IT17 до IT5, с учетом заданного размера  $d_d$ .

8.1 Определяем, к какому диапазону размеров относится  $d_d$  и присваиваем индекс, в порядке увеличения размеров;

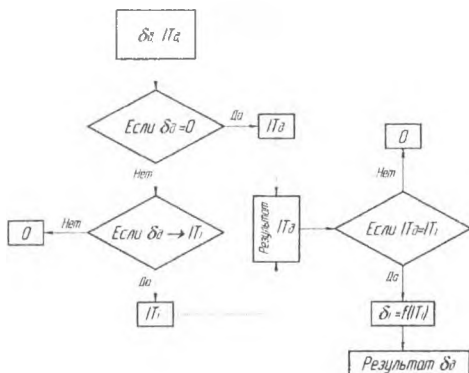
8.2 Определяем № индекса диапазона и принимаем соответствующий допуск размера в отдельности для каждого квалитета.

Таким образом, для любого вводимого размера, автоматически будут определены допуски по всем квалитетам от IT5 до IT17. Полученные величины допусков будут затем использоваться при определении коэффициентов уточнения.

В данной задаче предполагается, что допуск расчетного размера может отличаться от стандартного значения, или его значение не задано, а задан квалитет. Поэтому, целесообразно организовать подпрограмму, позволяющую определить ближайший стандартный допуск размера, и соответствующий ему номер квалитета. Далее, уточненные значения допусков размеров поверхности детали и заготовки будут использоваться в расчёте.

Сначала можно выполнить проверку принадлежности исходного допуска размера к ближайшему квалитету. После конкретизации квалитета можно перейти к соответствующим стандартным допускам.

Уточнение допусков размеров и соответствующих им квалитетов выполняется в две ветви – для детали и для заготовки. Вариант для детали показан на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма уточнения величины допуска размера и квалитета**

9. Результат определения допусков по каждому квалитету отправляем в качестве входных данных для следующего расчетного блока. В следующем расчетном блоке формируем ряды подпрограмм, для определения необходимого состава методов обработки.

10. Определяем возможные соотношения допусков:  $\frac{\delta_{1,2}}{\delta_1}$ ;  $\frac{\delta_1}{\delta_1}$ ;  $\frac{\delta_2}{\delta_1}$ ; ...  $\frac{\delta}{\delta_{1,1}}$  и

т.д.

11. С целью упрощения подпрограмм разделяем блок-схему на две параллельные ветви. Признаком для разделения удобно выбрать классификацию по материалу, т.к. для стали и чугуна определены разные допустимые пределы коэффициентов уточнения.

При этом на проверку материала на принадлежность для стали и чугуна можно выполнить в отдельных ячейках т.е., разделить ветви решения.

12. Выполняем проверку всех возможных условий, и результат выводим в виде соответствующего кода.

13. Объединяем результаты выбора по всем расчетным блокам.

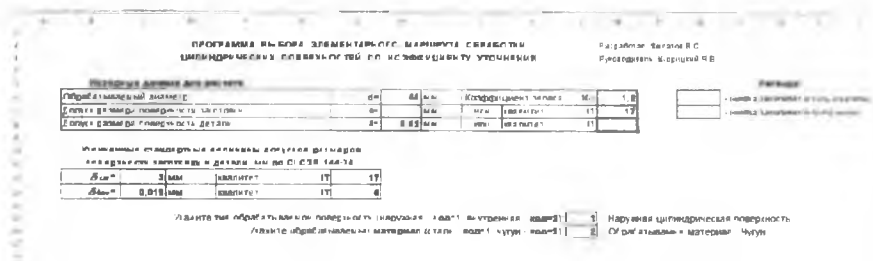


Рисунок 3 – Оформление листа ввода исходных данных в Excel

#### Список цитированных источников

1. Проектирование технологий машиностроения на ЭВМ: Учебник для вузов / О.В. Таратынов, Б.М. Базров, В.В. Клепиков и др.; Под ред. О.В. Таратынова. – М.: МГИУ, 2006. – 519 с.

2. Методические указания для выполнения курсового проекта по специальности 36 01 01 «Технология машиностроения» / О.А. Медведев, А.П. Акулич, Брест: БрГТУ, 2009.

**ПРОБЛЕМЫ  
СТРОИТЕЛЬСТВА  
АРХИТЕКТУРЫ**

## К РАСЧЕТУ СИСТЕМ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА НЕПОДВИЖНЫЕ НАГРУЗКИ

Одним из основных и наиболее мощных инструментов численного исследования напряженно-деформированного состояния конструкций и сооружений при действии различных нагрузок и воздействий в последние годы является метод конечных элементов (МКЭ), который позволяет решать задачи с большим числом неизвестных и отличается возможностью высокой степени автоматизации всех процессов, высокой логичностью и универсальностью.

Здесь рассматривается расчет систем перекрестных балок (СПБ) (рис. 1) на неподвижные нагрузки методом конечных элементов в форме метода перемещений.

Разрешающие уравнения МКЭ записываются в виде

$$[E_1] \{-[K] \{\Delta\} + \{P\}\} = 0, \quad (1)$$

где  $\{P\}$ ,  $\{\Delta\}$  – вектора нагрузок и перемещений в узлах системы;  $\{K\}$  – матрица жесткости системы, имеющая вид:

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $n$  – число перемещений узлов системы.

Элемент матрицы жесткости  $k_{mj}$  представляет собой реакцию в  $m$ -ом направлении (величину реакции  $r_m$ ) от смещения узла в  $j$ -ом направлении на единичную величину –  $\Delta_j = 1$ . Смещение узла вызывает деформации всех примыкающих к этому узлу стержней и, следовательно, величина возникающей в этом узле реакции должна включать реакции от действия всех этих стержней. Поэтому  $k_{mj}$  вычисляют, задавая смещение  $\Delta_j = 1$  и суммируя реакции от всех КЭ, примыкающих к узлу  $i_m$ , к которому относится  $m$ -ое направление реакции (и перемещения):

$$k_{mj} = \sum_{i_m} r_{i_m} \quad (3)$$

Величины  $k_{mj}$  и  $r_{i_m}$  определяют в общей системе координат.  $[E_1]$  – диагональная матрица вида:

$$[E_1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

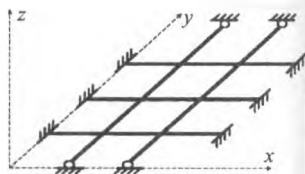


Рисунок 1



Число элементов этой матрицы по диагонали равно числу перемещений узла системы  $\{\Delta\}$ , причем каждому ее диагональному элементу соответствует узел и направление его перемещения в том же порядке, что и в матрице  $\{\Delta\}$ . Диагональные элементы матрицы  $[E_i]$  могут принимать два значения – 0 либо 1. Единице равны элементы, соответствующие направлениям, по которым перемещения возможны, а нулю – элементы, соответствующие перемещениям узлов в направлениях, по которым перемещения вследствие наличия опорных связей отсутствуют.

Системы перекрестных балок представляют собой стержневые сооружения, в которых конечные элементы располагаются в одной плоскости (рис. 1). СПБ при использовании МКЭ обычно разбивают на конечные элементы (КЭ) балочного типа по узлам стержней и по точкам приложения сосредоточенных нагрузок. В общем случае каждый узел такой системы обладает шестью степенями свободы, однако учитывая, что СПБ работают обычно только на действие вертикальных нагрузок, можно пренебречь рядом перемещений [1] – линейными перемещениями в плоскости СПБ (в направлениях осей  $x$ ,  $y$ ) и углами поворота вокруг оси  $z$ . В результате вектор перемещений в узле СПБ (рис. 2) будет иметь три перемещения – вертикальное линейное перемещение (в направлении оси  $z$ ) и два угла поворота относительно осей  $x$  и  $y$ . Соответственно для конечных элементов СПБ балочного вида будем иметь по шесть перемещений (рис. 2) и усилий (рис. 3) по концам.

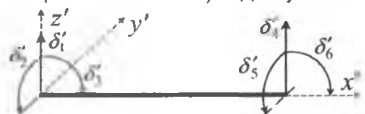


Рисунок 2 – Перемещения концов КЭ СПБ

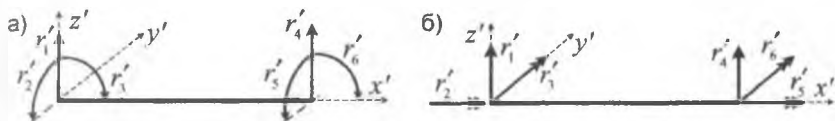


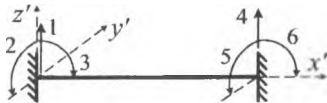
Рисунок 3 – Реакции по концам КЭ СПБ в обычном (а) и в векторном (б) виде

Отметим, что для векторов-моментов направления определяются согласно правилу «буравчика», согласно которому положительными они являются тогда, когда действуют против часовой стрелки, если смотреть на них с конца векторов.

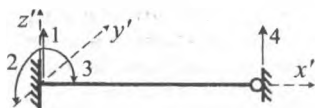
Матрицы жесткости конечных элементов для систем перекрестных балок местной системе координат имеют вид:

а) тип 1:

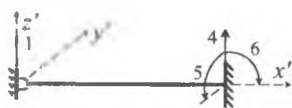
$$[K^e] = \begin{bmatrix} \frac{12EJ}{l^3} & 0 & \frac{6EJ}{l^2} & \frac{12EJ}{l^3} & 0 & \frac{6EJ}{l^2} \\ 0 & \frac{GJ_m}{l} & 0 & 0 & \frac{GJ_m}{l} & 0 \\ \frac{6EJ}{l^2} & 0 & \frac{4EJ}{l} & \frac{6EJ}{l^2} & 0 & \frac{2EJ}{l} \\ \hline \frac{12EJ}{l^3} & 0 & \frac{6EJ}{l^2} & \frac{12EJ}{l^3} & 0 & \frac{6EJ}{l^2} \\ 0 & \frac{GJ_m}{l} & 0 & 0 & \frac{GJ_m}{l} & 0 \\ \frac{6EJ}{l^2} & 0 & \frac{2EJ}{l} & \frac{6EJ}{l^2} & 0 & \frac{4EJ}{l} \end{bmatrix} \quad (5)$$



б) тип 2:



в) тип 3:



$$[K'_i] = \begin{bmatrix} \frac{3EJ}{l^3} & 0 & \frac{3EJ}{l^2} & \frac{3EJ}{l^3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{3EJ}{l^2} & 0 & \frac{3EJ}{l} & \frac{3EJ}{l^2} & 0 & 0 \\ \frac{3EJ}{l^3} & 0 & \frac{3EJ}{l^2} & \frac{3EJ}{l^3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad [K'_i] = \begin{bmatrix} \frac{3EJ}{l^3} & 0 & 0 & \frac{3EJ}{l^3} & 0 & \frac{3EJ}{l^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{3EJ}{l^3} & 0 & 0 & \frac{3EJ}{l^3} & 0 & \frac{3EJ}{l^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{3EJ}{l^2} & 0 & 0 & \frac{3EJ}{l^2} & 0 & \frac{3EJ}{l} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Матрицы жесткости КЭ в общей системе координат получим согласно выражению:

$$[K] = [T_\alpha]^T [K'] [T_\alpha], \quad (7)$$

где матрица преобразования координат для КЭ системы перекрестных балок имеет вид:

$$[T_\alpha] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \gamma & \sin \gamma \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (8)$$

После определения перемещений узлов расчетной модели из решения системы уравнений (1) усилия по концам КЭ могут быть определяются с помощью выражения:

$$\{r'_s\} = [K'_i] \cdot \{\Delta_i\} - \{P'_{qs}\}. \quad (9)$$

Найденные по концам КЭ усилия прикладываем к соответствующим стержням с учетом их знаков (рис. 5) и определяем от их действия по обычным правилам строительной механики растянутые волокна (для изгиба) и знаки поперечных и продольных сил в крайних сечениях стержневого конечного элемента.

Определение изменения усилий внутри конечных элементов (построение эпюр этих усилий) можно выполнить, используя функции Эрмита [1].

Заметим, что для балочных конечных элементов, которые мы здесь рассматриваем, зависимости изменения внутренних сил в них нам хорошо известны:

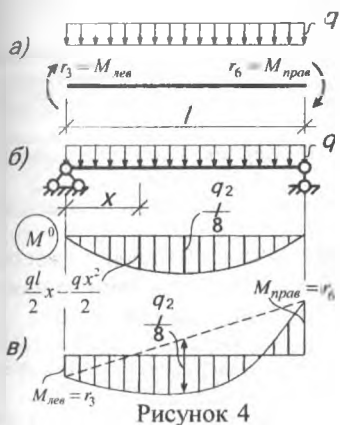


Рисунок 4

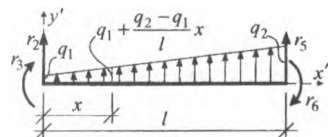


Рисунок 5

– в элементах, нагруженных только по торцам (в узлах), изгибающие моменты изменяются по линейным зависимостям, а поперечные силы постоянны;

– в элементах, на которые действуют распределенные нагрузки, поперечные силы изменяются по линейным, а изгибающие моменты – по параболическим зависимостям;

– крутящие моменты не зависят от равномерно распределенных нагрузок и будут постоянными по длине.

Зная величины усилий по концам конечных элементов и используя указанные закономерности изменений внутренних усилий, несложно построить эпюры этих усилий в каждом из конечных элементов и соответственно во всей системе в целом.

При этом для стержней, на которые действует равномерно распределенная нагрузка (рис. 4а), при построении эпюры изгибающих моментов (рис. 4в) необходимо к линейной эпюре, полученной соединением прямой линией ординат по концам стержня, добавить (подвесить) балочную эпюру.

Перемещения сечений внутри конечных элементов можно получить с использованием функций Эрмита или на основе известных дифференциальных зависимостей.

Например, для конечного элемента, на который действует нагрузка, распределенная по трапециoidalной зависимости (рис. 5), для поперечных перемещений будем иметь зависимость

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EJ} = \frac{1}{EJ} \left( r_1 + r_2 x + \frac{q_1}{2} x^2 + \frac{q_2 - q_1}{6l} x^3 \right),$$

проинтегрировав которую два раза

$$\varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{1}{EJ} \left( r_1 x + r_2 \frac{x^2}{2} + \frac{q_1}{6} x^3 + \frac{q_2 - q_1}{24l} x^4 \right) + C_1,$$

$$y = \frac{1}{EJ} \left( r_1 \frac{x^2}{2} + r_2 \frac{x^3}{6} + \frac{q_1}{24} x^4 + \frac{q_2 - q_1}{120l} x^5 \right) + C_1 x + C_2,$$

и найдя после подстановки в эти выражения граничных условий (при  $x=0$  –

$y = \delta_2$ ,  $\frac{dy}{dx} = -\delta_1$ ) постоянные интегрирования ( $C_1 = -\delta_1$ ;  $C_2 = \delta_2$ ), получим

$$u_2 = v = \delta_2 - \delta_1 x + \frac{1}{EJ} \left( r_1 \frac{x^2}{2} + r_2 \frac{x^3}{6} + \frac{q_1}{24} x^4 + \frac{q_2 - q_1}{120l} x^5 \right),$$

$$u_1 = \varphi = -\delta_1 + \frac{1}{EJ} \left( r_1 x + r_2 \frac{x^2}{2} + \frac{q_1}{6} x^3 + \frac{q_2 - q_1}{24l} x^4 \right) \quad (10)$$

На основе изложенного можно определить алгоритм статического расчета систем перекрестных балок методом конечных элементов:

1. Определение расчетной дискретной модели заданной системы перекрестных балок (разделение ее на конечные элементы (КЭ), назначение узлов) и описание ее структуры (нумерация узлов и конечных элементов, определение их числа).
2. Выбор общей и местных систем координат и определение координат узлов в общей системе координат.
3. Составление вектора перемещений узлов расчетной дискретной модели системы.
4. Идентификация конечных элементов (определение их длин  $l_e$ , жесткостей  $EJ_e$  и  $GJ_{кр e}$ , типов, установление соответствия между номерами стержней и номерами начального и конечного узлов для этих конечных элементов).
5. Преобразование внешних нагрузок (преобразование пролетных равномерно распределенных нагрузок на стержни к узловым нагрузкам, определение суммарных узловых сил в каждом узле дискретной модели).
6. Построение матриц жесткости конечных элементов в местных системах координат.
7. Формирование матрицы жесткости всей системы в общей системе координат.
8. Получение системы разрешающих уравнений путем учета граничных условий (опорных связей) при этом может быть использована диагональная матрица (1) либо простое вычеркивание строк и столбцов, соответствующих нулевым перемещениям.
9. Решение системы разрешающих уравнений и определение узловых перемещений системы.
10. Определение узловых перемещений и усилий для конечных элементов.
11. Определение усилий и перемещений в конечных элементах, построение эпюр внутренних сил в системе и определение ее деформированного вида.

**Заключение.** В работе представлены особенности и алгоритм расчета балочных систем на неподвижные нагрузки методом конечных элементов в форме метода перемещений.

#### **Список цитированных источников**

1. Игнатюк В.И. Метод конечных элементов в расчетах стержневых систем. – Брест, 2009. – 172 с.

УДК 681.3:519.3

*Алексеев Т.Ю.*

*Научный руководитель: Игнатюк В.И.*

### **КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА УСИЛИЙ В СИСТЕМАХ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК С УЧЕТОМ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

В расчетах методом конечных элементов основное разрешающее уравнение имеет вид [1]:

$$[K]\{\Delta\} = \{P\}, \quad (1)$$

где  $[K]$  – матрица жесткости системы,  $\{d\}$  – вектор перемещений узлов системы,  $\{P\}$  – вектор внешних узловых нагрузок.

Учет упруго-податливого соединения элементов в узлах вызовет соответствующие изменения в матрицах  $[K]$  и  $\{P\}$ . Так как эти матрицы могут быть сформированы из матриц отдельных конечных элементов (КЭ) [1], учет упруго-податливости присоединения КЭ к узлам может быть выполнен на уровне определения матриц жесткости и векторов нагрузок КЭ.

Для конечных элементов систем перекрестных балок, присоединяющихся к узлам с помощью упруго-податливых связей, жесткости которых определяются величинами  $c_1 - c_6$  (рис. 1) ( $c_1, c_4$  – жесткости вертикальных связей в начале и в конце стержня,  $c_2, c_5$  и  $c_3, c_6$  – жесткости соответствующих угловых связей в плоскостях  $y-z$  и  $x-z$ ), матрица жесткости в местной системе координат будет иметь вид:

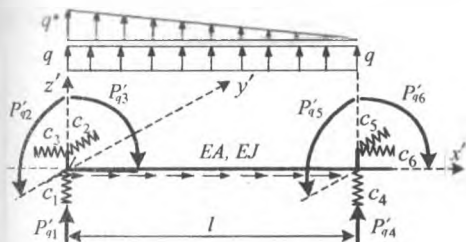


Рисунок 1 – Схема конечного элемента СПБ

$$[K'] = \begin{bmatrix} \frac{12EJ}{l^3} k_1 & 0 & -\frac{6EJ}{l^2} k_1 & -\frac{12EJ}{l^3} k_1 & 0 & -\frac{6EJ}{l^2} k_4 \\ 0 & \frac{GJ_{xp}}{l} k_{xp} & 0 & 0 & \frac{GJ_{xp}}{l} k_{xp} & 0 \\ -\frac{6EJ}{l^2} k_1 & 0 & \frac{3EJ}{l} (k_2 + k_3) & \frac{6EJ}{l^2} k_2 & 0 & \frac{3EJ}{l} (k_2 - k_3) \\ -\frac{12EJ}{l^3} k_1 & 0 & \frac{6EJ}{l^2} k_2 & \frac{12EJ}{l^3} k_1 & 0 & \frac{6EJ}{l^2} k_4 \\ 0 & -\frac{GJ_{xp}}{l} k_{xp} & 0 & 0 & \frac{GJ_{xp}}{l} k_{xp} & 0 \\ -\frac{6EJ}{l^2} k_4 & 0 & \frac{3EJ}{l} (k_2 - k_3) & \frac{6EJ}{l^2} k_4 & 0 & \frac{3EJ}{l} (k_4 + k_5) \end{bmatrix} \quad (2)$$

где  $EA, EJ$  – продольная и изгибная жесткости стержня, и где обозначено:

$$k_1 = \frac{t_4}{t_2 t_4 - 3t_3^2}, \quad k_2 = \frac{t_1 + t_4}{t_1 t_4 - 3t_3^2}, \quad k_{xp} = \frac{l}{1 + (c_1 + c_4) \frac{EA}{l}},$$

$$k_3 = \frac{1}{3t_1} + \frac{t_1}{t_4} k_2, \quad k_4 = \frac{t_4 - t_1}{t_1 t_4 - 3t_3^2}, \quad k_5 = \frac{1}{3t_2} + \frac{t_2}{t_4} k_4, \quad (3)$$

$$t_1 = 1 + (c_2 + c_3) \frac{12EJ}{l^3} + (c_3 + c_6) \frac{3EJ}{l}, \quad t_2 = (c_5 - c_3) \frac{EJ}{l}, \quad t_3 = 1 + (c_1 + c_4) \frac{EJ}{l} \quad (4)$$

При действии на конечных элементов распределённых нагрузок в методе конечных элементов их необходимо преобразовывать к узловым. Это преобразование для конечных элементов, упруго-податливо присоединяемых к узлам, не будет совпадать со случаями жёстко-шарнирного соединения конечных элементов в узлах и может быть получено также на основе расчётов со-

ответствующих конечных элементов [1]. Для случая нагружения КЭ распределенными нагрузками, представленными на рис. 1, величины узловых нагрузок для него будут определяться выражением

$$\{P'_q\} = \begin{Bmatrix} f'_{q1} \\ f'_{q2} \\ f'_{q3} \\ f'_{q4} \\ f'_{q5} \\ f'_{q6} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{q l}{2}(1-f_{q2}) + \frac{q l}{20}(10-u_{q1}) \\ 0 \\ -\frac{q l^2}{12}(1,5-3f_{q2}-f_{q3}) - \frac{q l^2}{120}(20+u_{q2}-6u_{q1}) \\ \frac{q l}{2}(1+f_{q2}) + \frac{q l}{20}u_{q1} \\ 0 \\ \frac{q l}{12}(1,5+3f_{q2}-f_{q3}) + \frac{q l^2}{120}u_{q2} \end{Bmatrix} \quad (5)$$

где  $f_{q2} = \frac{3t_2t_4 - t_2t_1}{6t_2^2 - 2t_2t_4}$ ;  $f_{q3} = 3f_{q2} \frac{t_3}{t_4} + \frac{t_1}{2t_4}$ ;  $u_{q2} = \frac{3u_2u_{q1} - 5s_{q3}}{u_3}$

$$u_{q1} = \frac{8s_{q2}u_3 - 5s_{q3}u_2}{4u_1u_3 - 3u_2^2}; \quad t_{q2} = \frac{EJ}{l} \left( \frac{1}{c_6} \frac{1}{c_3} \right) + \frac{8EJ}{l^3} \left( \frac{1}{c_5} \frac{1}{c_2} \right);$$

$$t_{q1} = 1 + \frac{3EJ}{l} \left( \frac{1}{c_3} + \frac{1}{c_6} \right); \quad s_{q2} = 1 + \frac{15EJ}{c_2l^3}; \quad s_{q3} = 1 + \frac{4EJ}{c_3l}. \quad (6)$$

$$u_1 = 1 + \frac{3EJ}{l^3} \left( \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_5} \right) + \frac{3EJ}{c_3l}; \quad u_2 = 1 + \frac{2EJ}{c_3l}; \quad u_3 = 1 + \left( \frac{1}{c_3} + \frac{1}{c_6} \right) \frac{EJ}{l}; \quad t_2, t_3, t_4 - \text{см. (3)}.$$

Преобразование матриц жесткости и векторов внешних нагрузок конечных элементов из местных в общую систему координат производится с помощью выражений [3]:

$$[K] = [T_\alpha]^T \cdot [K'] \cdot [T_\alpha]; \quad \{P_q\} = [T_\alpha]^T \{P'_q\}, \quad (7)$$

где  $[T_\alpha]$ ,  $[T_\alpha]^T$  – обычная и транспонированная матрицы преобразования координат.

На основе полученных зависимостей и алгоритма расчета [2, 3] разработана компьютерная программа расчета систем перекрестных балок на статические нагрузки. Программа составлена на языке С# [4] с применением объектно-ориентированной модели программирования для ОС Windows.

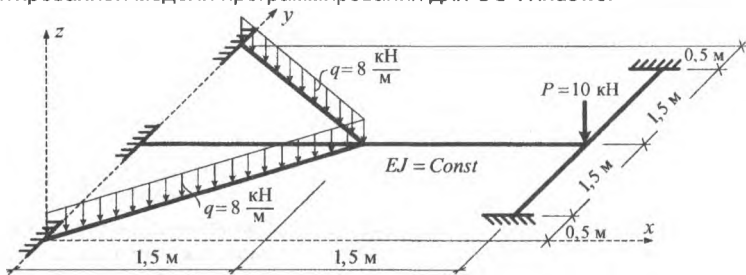
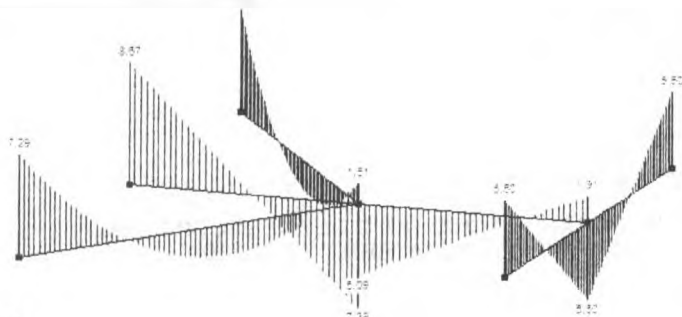
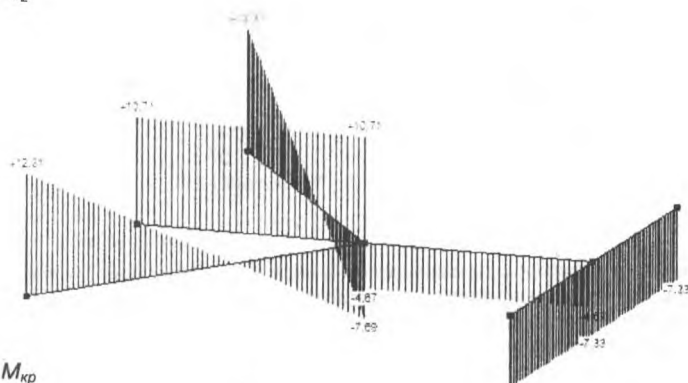


Рисунок 2 – Расчетная схема системы перекрестных балок

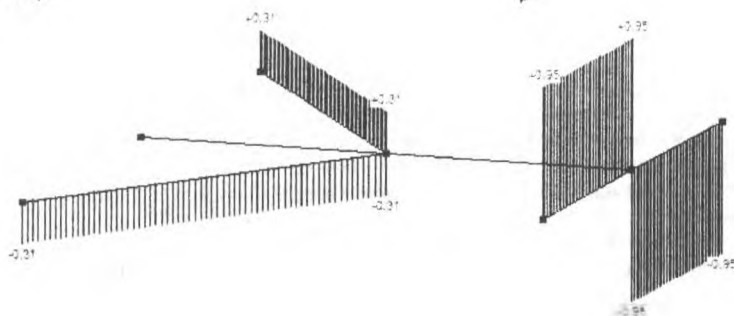
Эпюра  $M_y$



Эпюра  $Q_z$



Эпюра  $M_{кр}$



**Рисунок 3 – Результаты расчета системы перекрестных балок**

**Список цитированных источников**

1. Игнатюк, В.И. Метод конечных элементов в расчетах стержневых систем. – Брест: БрГТУ, 2009. – 172 с.
2. Алексеев, Т.Ю. К расчету систем перекрестных балок методом конечных элементов на неподвижные нагрузки // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов / БрГТУ. – Брест, 2015.

3. Алексеев, Т.Ю. Деформирование конечного элемента системы перекрестных балок, упруго-податливо присоединенного к узлам // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов / БрГТУ. – Брест, 2015.

4. Павловская, Т.А. С#: Программирование на языке высокого уровня. – С.-Петербург : Питер, 2014. – 432 с.

УДК 681.3:519.3

*Алексеев Т.Ю.*

*Научный руководитель: Игнатюк В.И.*

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК, УПРУГО-ПОДАТЛИВО ПРИСОЕДИНЕННОГО К УЗЛАМ

**Введение.** Расчет сооружений методом конечных элементов широко распространен в настоящее время. При этом учет всех особенностей работы сооружений остается актуальной задачей. Соединение в стержневых системах конечных элементов между собой в узлах в большинстве случаев не бывает идеально шарнирным или абсолютно жестким. Поэтому учет упруго-податливого присоединения стержневых конечных элементов к узлам является необходимым и актуальным.

**Постановка задачи.** Рассматривается расчет систем перекрестных балок методом конечных элементов [1] с учетом упругой податливости узловых соединений [2]. Пусть основное разрешающее уравнение метода конечных элементов

$$[K] \cdot \{\Delta\} = \{F\} \quad (1)$$

решено и определены перемещения узлов ( $\Delta_i$ ) расчетной дискретной модели системы, которые равняются соответствующим перемещениям концов пространственных конечных элементов ( $\delta_s$ ), присоединяемых к этим узлам. Таких перемещений в каждом узле будет шесть – три линейных перемещения по направлениям осей  $x$ ,  $y$  и  $z$  общей системы координат и три угла поворота относительно этих осей (рис. 1). В (1) обозначено:  $[K]$  – матрица жесткости системы;  $\{\Delta\}$  – вектор перемещений узлов системы;  $\{F\}$  – вектор внешних узловых нагрузок.

Получим зависимости для определения перемещений сечений балочного конечного элемента, упруго-податливого присоединяемого к узлам расчетной дискретной модели системы перекрестных балок, в зависимости от перемещений узловых точек расчетной дискретной модели и действующих на стержни распределенных нагрузок. При этом зависимости для конечного элемента получим сначала в местной системе координат с последующим их преобразованием в общую (глобальную) систему координат.

Узловые перемещения для конечного элемента из глобальной в местную систему координат преобразуем с помощью зависимости [1]

$$\{\delta'_s\} = [T_{cs}] \cdot \{\delta_s\}, \quad (2)$$

где  $[T_{cs}]$  – матрица преобразования координат, вид которой для пространственного стержневого конечного элемента представлен в работе [1].

**Получение расчетных зависимостей.** Расчет конечного элемента выполним методом перемещений [3], приняв за неизвестные – перемещения конечных точек расчетной дискретной модели стержня ( $Z_i$ ), в которых стержень присоединяется к узлам конечно-элементной модели системы с помощью упру-



гих связей (перемещения точек  $a$  и  $b$  на рис. 1). Жесткости упругих связей представлены величинами:  $c_1, c_2, c_3$  и  $c_7, c_8, c_9$  – жесткости линейных упругих связей по направлениям осей  $x', y'$  и  $z'$  соответственно в начале и в конце элемента (рис. 2,а);  $c_4, c_5, c_6$  и  $c_{10}, c_{11}, c_{12}$  – жесткости угловых упругих связей относительно осей  $x', y'$  и  $z'$  соответственно в начале и в конце стержня (рис. 2,б).

Основную систему метода перемещений получим, установив по направлениям всех возможных линейных и угловых перемещений концов стержня в точках  $a$  и  $b$  дополнительные связи (рис. 3). Система уравнений метода перемещений в матричной форме имеет вид

$$[r] \cdot \{Z\} + \{R_f\} = 0, \quad (3)$$

где  $\{Z\}$  – вектор перемещений дополнительных связей (рис. 3);  $[r]$  – матрица реакций в

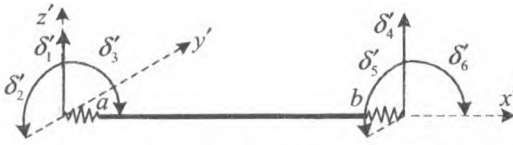


Рисунок 1 – перемещения узлов для балочного КЭ СПБ

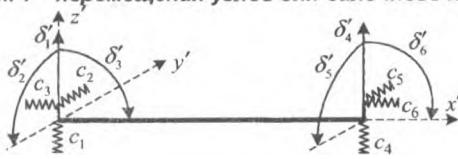


Рисунок 2 – Упругие связи конечного элемента СПБ



Рисунок 3 – Основная система метода перемещений

дополнительных связях, возникающих при их единичных смещениях; то есть элемент этой матрицы  $r_{ik}$  представляет собой реактивное усилие в направлении  $i$ -ой дополнительной связи (это могут быть силы в линейных связях, либо моменты в угловых связях) от единичного перемещения  $k$ -ой дополнительной связи (линейного смещения либо угла поворота);  $\{R_f\}$  – вектор реактивных усилий в дополнительных связях от внешних воздействий, в качестве которых здесь будут выступать перемещения узлов  $\delta'$  и внешние нагрузки, распределенные в общем случае по трапецеидальным зависимостям.

Для определения реакций в дополнительных связях от единичных перемещений узлов воспользуемся табличными эпюрами метода перемещений [2].

Построим от каждого из единичных перемещений эпюры усилий (изгибающих моментов) и найдем возникающие в дополнительных связях реакции спо-

собом вырезания узлов. При этом учтем, что при единичном перемещении упругих связей в них возникают усилия (силы, моменты), равные обратной величине жесткости соответствующих связей. На рис. 4 показаны соответствующие процедуры для перемещений  $Z_1 = 1$ ,  $Z_2 = 1$  и  $Z_3 = 1$ .

Для остальных трех перемещений эти процедуры аналогичны. В результате из вырезания узлов и рассмотрения их равновесия получаем:

а) от перемещения  $Z_1 = 1$ :

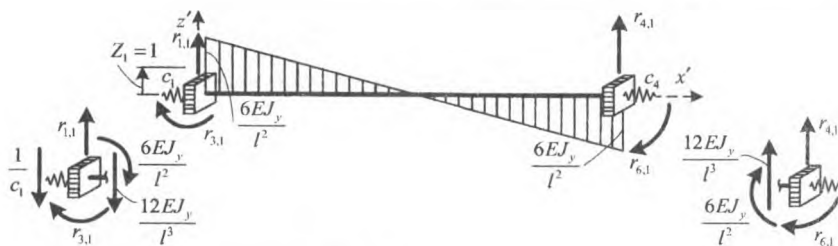
$$r_{1,1} = \frac{12EJ_y}{l^3} \cdot \frac{1}{c_1}; \quad r_{3,1} = -\frac{6EJ_y}{l^2}; \quad r_{4,1} = \frac{12EJ_y}{l^3}; \quad r_{6,1} = -\frac{6EJ_y}{l^2}$$

в) от перемещения  $Z_2 = 1$ :

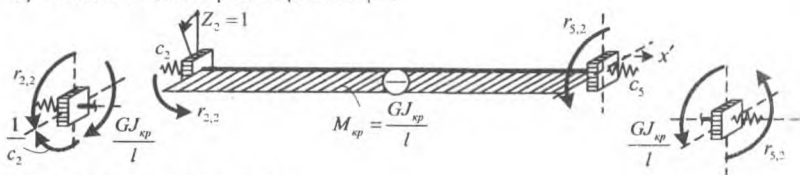
$$r_{3,2} = \frac{GJ_{sp}}{l} + \frac{1}{c_2}; \quad r_{5,2} = -\frac{GJ_{sp}}{l}$$

г) от перемещения  $Z_3 = 1$ :

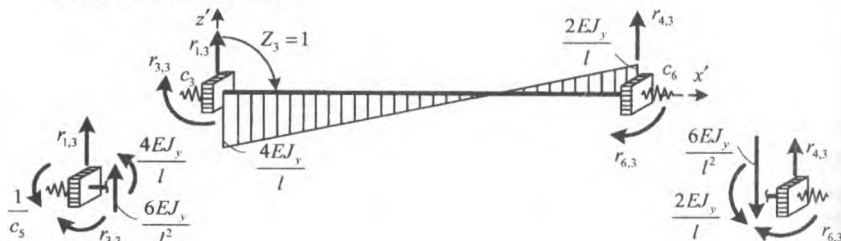
$$r_{1,3} = -\frac{6EJ_y}{l^2}; \quad r_{3,3} = \frac{4EJ_y}{l} + \frac{1}{c_3}; \quad r_{4,3} = \frac{6EJ_y}{l^2}; \quad r_{6,3} = \frac{2EJ_y}{l}$$



а) от линейного перемещения  $Z_2 = 1$



б) от угла поворота  $Z_2 = 1$



в) от угла поворота  $Z_3 = 1$

Рисунок 4

Реакции в дополнительных связях, возникающих от остальных трех единичных перемещений, находятся аналогично. Матрица  $[r]$  в результате принимает вид (4):

$$[r] = \begin{bmatrix} \frac{12EJ_v}{l^3} \left| \frac{1}{c_1} \right. & 0 & \frac{6EJ_v}{l^2} & \frac{12EJ_v}{l^3} & 0 & \frac{6EJ_v}{l^2} \\ 0 & \frac{GJ_{\text{вр}}}{l} + \frac{1}{c_2} & 0 & 0 & \frac{GJ_{\text{вр}}}{l} & 0 \\ \frac{6EJ_v}{l^2} & 0 & \frac{4EJ_v}{l} \left| \frac{1}{c_3} \right. & \frac{6EJ_v}{l^2} & 0 & \frac{2EJ_v}{l} \\ \hline \frac{12EJ_v}{l^3} & 0 & \frac{6EJ_v}{l^2} & \frac{12EJ_v}{l^3} \left| \frac{1}{c_4} \right. & 0 & \frac{6EJ_v}{l^2} \\ 0 & \frac{GJ_{\text{вр}}}{l} & 0 & 0 & \frac{GJ_{\text{вр}}}{l} + \frac{1}{c_5} & 0 \\ \frac{6EJ_v}{l^2} & 0 & \frac{2EJ_v}{l} & \frac{6EJ_v}{l^2} & 0 & \frac{4EJ_v}{l} \left| \frac{1}{c_6} \right. \end{bmatrix} \quad (4)$$

Свободные члены уравнения (3)  $R_{i,j}$  представляют собой реакции в дополнительных связях от внешних воздействий на рассматриваемый конечный элемент. В качестве внешних воздействий здесь выступают перемещения узлов  $\delta'$  и распределенные по трапецидальным зависимостям внешние нагрузки. Перемещения узлов  $\delta'$  будут вызывать в упругих связях усилия, равные произведению этих перемещений на величины, обратные жесткостям связей ( $\delta' \cdot \frac{1}{c_i}$ ). Действие трапецидально распределенных нагрузок учтем с помощью зависимостей для усилий от этих нагрузок по концам стержней, полученных в [1], сложив действие равномерно распределенной и треугольно распределенной нагрузок.

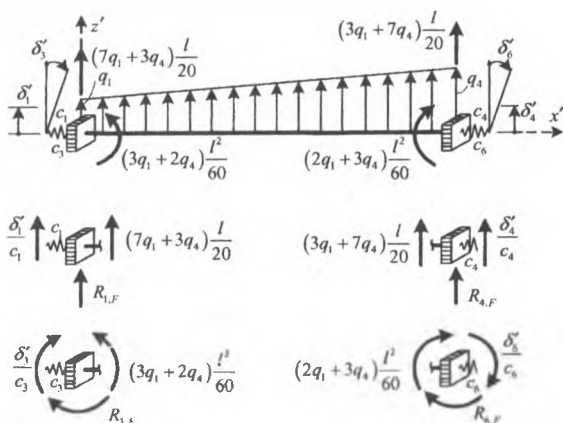


Рисунок 5 – Определение грузовых реакций в плоскости  $x'z'$

Определение грузовых реакций  $R_{i,F}$  для стержня от перемещений узлов  $\delta'$  и распределенных нагрузок показано на рис. 5. Вырезания узлы в методе перемещений, получим:

$$\begin{aligned} R_{1,F} &= -\frac{\delta_1'}{c_1} - (7q_1 + 3q_4) \frac{l}{20}; & R_{3,F} &= -\frac{\delta_3'}{c_3} - (3q_1 + 2q_4) \frac{l^2}{60}; \\ R_{4,F} &= -\frac{\delta_4'}{c_4} - (q_1 + 2q_4) \frac{l}{6}; & R_{6,F} &= -\frac{\delta_6'}{c_6} - (2q_1 + 3q_4) \frac{l^2}{60}; \end{aligned} \quad (5)$$

Матрица  $\{R_F\}$  определена. Решая систему уравнений метода перемещений (3) найдем перемещения  $\{Z\}$  концов стержня, упруго-податливо присоединяемого к узлам системы.

После этого перемещение любого сечения стержня в местной системе координат определим на основе дифференциальной зависимости:

$$\frac{d^2 u_i}{dx^2} = \frac{M_i}{EJ}, \quad \frac{d^2 u_i}{dx^2} = \frac{M_v}{EJ_v} = \frac{1}{EJ_v} \left( r_3 + r_1 x + \frac{q_1}{2} x^2 + \frac{q_4 - q_1}{6l} x^3 \right). \quad (6)$$

Проинтегрируем выражение два раза и, подставив граничные условия, найдем постоянные интегрирования. Граничные условия при жестком присоединении к начальному узлу записываются в виде: при  $x=0$   $y=Z_1$ ,  $\varphi = \frac{du_i}{dx} = -Z_1$ .

В результате получим зависимость для прогибов сечений стержня в виде:

$$u_i = Z_1 - Z_3 x + \frac{1}{EJ_z} \left( r_3 \frac{x^2}{2} + r_1 \frac{x^3}{6} + q_1 \frac{x^4}{24} + \frac{q_4 - q_1}{120l} x^5 \right).$$

**Заключение.** В работе получены зависимости для определения перемещений сечений конечных элементов, упруго-податливо присоединяющихся к узлам систем перекрестных балок, позволяющие определить координаты любого сечения деформированного сооружения.

#### Список цитированных источников

1. Игнатюк, В.И. Метод конечных элементов в расчетах стрелевых систем: учебное пособие / В.И. Игнатюк. – Брест: БрГТУ, 2007. – 172 с.
2. Игнатюк, В.И. Строительная механика: пособие / В.И. Игнатюк, И.С. Сыроквашко. – Брест: БрГТУ, 2015. – 152 с.

УДК 697.921.2

**Бакукин Н.В., Дьякончук А.С.**

**Научный руководитель: ст.преподаватель Полюхович А.А.**

### ПРИЧИНЫ НАРУШЕНИЯ РАБОТЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМАХ. ПУТИ РЕШЕНИЯ.

Целью настоящей работы является выявление основных причин нарушения работы систем естественной вентиляции и нахождение путей решений восстановления нормального режима вентиляции в многоквартирных жилых домах.

Предмет исследования – система естественной вентиляции.

Объект исследования – многоквартирные жилые дома.

В процессе своей ежедневной деятельности человек пользуется кухонной плитой, принимает душ или ванну, стирает и, наконец, дышит, что приводит к загрязнению воздуха продуктами сгорания, насыщению его лишней влагой в помещениях и повышению уровня углекислого газа в помещениях.

Повышенная влажность в помещении приводит к:

- отсыреванию ограждающих конструкций помещения;
- появлению плесени и микроаргонизмов на участках стен, откосах.

Повышение уровня углекислого газа даже в невысоких концентрациях может пагубно отразиться на здоровье и работоспособности человека. Излишняя концентрация углекислого газа в воздухе может приводить к негативным изменениям в крови и моче человека и его ДНК.

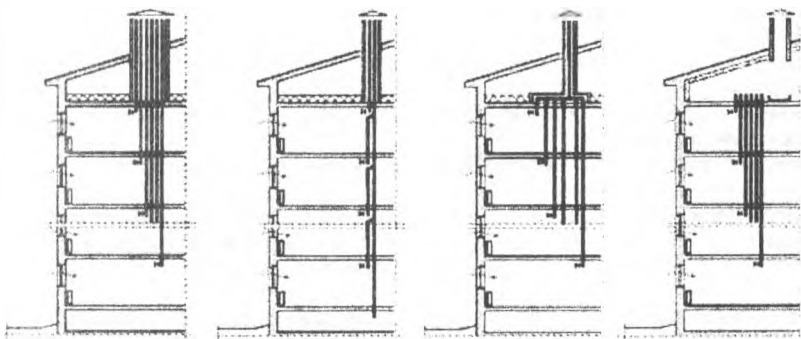
Каждая современная квартира должна быть оснащена вентиляцией, которая удаляет из нежилых помещений, таких, как ванная, туалет или кухня загрязненный воздух, что предусмотрено нормами [1,2]. Согласно [1,2] воздухообмен в жилых помещениях должен быть не менее  $3\text{ м}^3/(\text{ч м}^2)$ , для соблюдения санитарно-гигиенических требований по содержанию углекислого газа и влажности воздуха.

Качественная вентиляция помогает снижать концентрацию углекислого газа  $\text{CO}_2$  в помещениях, уменьшать влажность в помещении до 40-60%, тем самым создавать здоровый микроклимат жилища, не ухудшающий состояние здоровья человека и состояние ограждающих конструкций здания.

При естественной вентиляции свежий воздух поступает в помещение через небольшие щели в дверных и оконных рамах (инфильтрация). Удаляется воздух из помещения через вентиляционные каналы за счет:

- разности температур наружного и воздуха в помещении;
- разности давлений «воздушного столба» между нижним уровнем (помещением) и верхним уровнем (вытяжным устройством, установленным на кровле здания);
- в результате воздействия, так называемого ветрового давления.

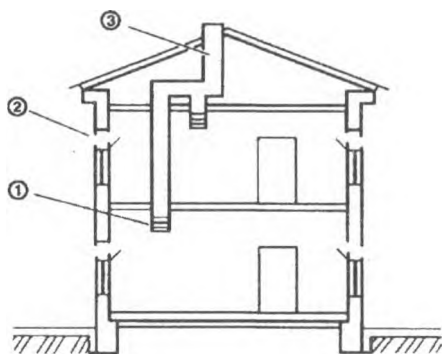
Самые распространённые схемы вентиляции, применяемые на сегодняшний день в строительстве, представлены на рис. 1.



*а – без сборных каналов; б – с вертикальными сборными каналами;  
в – с горизонтальными сборными каналами на чердаке; г – с тёплым чердаком*

**Рисунок 1 – Принципиальные схемы некоторых систем естественной вентиляции жилых зданий**

Простейшая схема работы вентиляции представлена на рис. 2.



- 1 – устье вентиляционного канала;  
2 – поступление свежего воздуха путем инфильтрации;  
3 – вентиляционный канал

**Рисунок 2 – Простейшая схема работы вентиляции**

Различные факторы могут приводить как к отсутствию тяги в вентиляционных каналах, так и появлению обратной тяги или порокидыванию тяги.

**Тяга** – термодинамический и аэродинамический направленный поток дымовых газов и воздуха в вытяжной конструкции, образуемый из-за разности давлений во взаимосвязанной системе помещение-вентиляционный канал-атмосфера, а так же различий плотностей и температур в системе. Прямая тяга является обязательным условием проектирования систем естественной вентиляции.

**Обратная тяга** – ситуация, когда поток воздуха не удаляется в вентиляционный канал, а возвращается из канала в помещение.

**Опрокидывание тяги** – кратковременное изменение направления движения основного потока на противоположное.

Проявляются эти процессы в виде поступления в отапливаемые помещения наружного холодного воздуха, что приводит к понижению температуры в помещении.

**Самые распространённые причины нарушения нормального режима вентиляции помещений:**

- **отсутствие приточного воздуха в герметичных помещениях;**

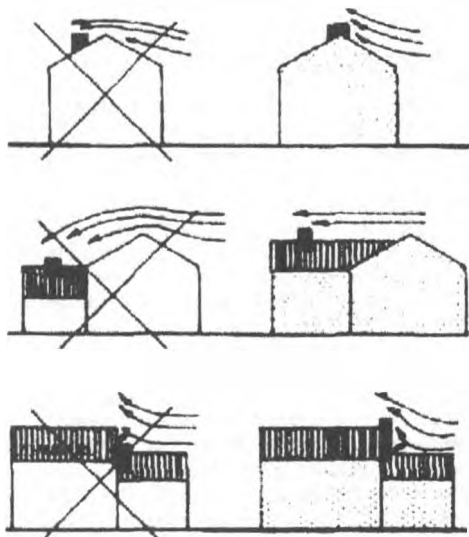
Эксплуатация современных окон подразумевает частое их открытие для проветривания. Это требование часто не соблюдается жильцами, из-за чего затрудняется нормальный воздухообмен в помещении. В 90% случаев именно отсутствие проветривания в помещении приводит к последствиям, описанным выше.

Решением является соблюдение режима микропроветривания. Дополнительно ежедневно необходимо производить проветривание помещений согласно требований СанПИНа вне зависимости от наружной температуры воздуха.

Дополнительным решением могут служить воздушные клапана для самовентиляции [2,3,4], исключающим необходимость открывать окна для проветривания и работающие независимо от жильцов.

• недостаточная высота вентиляционной шахты – вентканал установлен в зоне ветровой тени;

Если труба находится в зоне ветровой тени, образованной выступающими частями дома, может возникнуть нарушение циркуляции воздуха (Рис.3.) Решается выводом вентиляционной трубы выше зоны ветровой тени.



*Рисунок 3 – Схемы установки вентиляционных труб на крыше*

• наличие вентиляции с механическим побуждением в каналах спутниках;

Наличие в многоквартирном доме вытяжек различной мощности может привести к искривлению воздушного потока в общем канале, из-за чего в квартиры с менее мощными оборудованием будет поступать «грязный» воздух.

Решением является установка дефлектора – механического вентилятора, который производит подсос воздуха и дыма из вентиляционной шахты и организация совмещенной вентиляции – вытяжка + естественная вентиляция кухни. При этом необходимо предусмотреть обратный клапан на отверстии естественной вентиляции.

• холодный воздух в вентиляционном канале из-за возможного промерзания стенок канала по высоте;

При отсутствии утепления вентиляционная труба может замерзнуть и создать высокое давление в трубе, которое препятствует движению воздуха, вплоть до движения его в обратном направлении. При недостаточном утеплении на поверхности вентиляционных каналов при понижении температур может появляться конденсат, что в свою очередь вызовет появление дополнительного сопротивления потоку воздуха. Решением является утепление на всю высоту трубы до термического сопротивления не менее, чем у наружных стен здания согласно [3].

• **высокое сопротивление потоку воздуха в канале по причине отсутствия швабрования поверхности вентиляционных каналов: неровностей стенок вентканала, негерметичности вентиляционного канала; засорение вентиляционного канала, и;**

За счёт дополнительного сопротивления в вентканале происходит замедление скорости движения вентиляционного воздуха в канале вплоть до опрокидывания тяги.

Решением является устройство вентиляционных каналов с гладкой поверхностью с соблюдением герметичности всех стыков, частые осмотры и прочистка каналов от мусора, снега и льда.

• **отсутствие щелей в дверях (с/у, кухни, комнаты) в пределах квартир**

Затрудняет движение воздуха внутри квартиры, что замедляет процесс вентиляции. Решением является установка вентиляционных решёток в дверях или создание зазора между полотном двери и полом в 2-3 см.

• **атмосферные явления.**

На движение воздуха в канале влияет ветер и погодные условия, усиливая или наоборот снижая скорость в вентканале. Решением является установка дефлектора на вентиляционном канале.

• **значительная разница высот труб вентиляционных каналов в пределах одной квартиры, коттеджа**

При отсутствии подсоса воздуха в помещении вентиляционная труба, находящаяся ниже уровня второй вентиляционной трубы в пределах одной квартиры, коттеджа может работать на всасывание воздуха за счёт образовавшейся разницы давления внутри помещений квартиры и наружным воздухом. Решением является устройство вентиляционных труб с минимальной разницей в отметках в пределах одной квартиры.

В связи с появлением значительных проблем в работе естественной вентиляции необходимо ускорить переход к строительству энергоэффективных зданий с системами приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла вентиляционных выбросов [3].

Стоимость строительства таких зданий будет несколько увеличена по сравнению с обычными, однако, за счет экономии средств на отопление таких зданий с учетом ликвидации перекрестного субсидирования оплаты затрат на отопление и горячее водоснабжение зданий, дополнительные затраты окупятся в течение 10 лет [3].

Для ускорения окупаемости затрат на устройство этого типа вентиляции необходимо:

- отказаться от традиционных вентиляционных шахт, что увеличит полезную площадь квартир;
- отказаться от устройства чердачных этажей в т. ч. «тёплых чердаков», что снизит стоимость возведения коробки здания приблизительно на 5%.
- выполнять общую экспертную оценку всех составляющих проектной документации на рациональное использование технических решений [3].

#### **Список цитированных источников**

1. Жилые здания: СНБ 3.02.04-03 с изм. №1-9. - Введ. 01.01.04. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2003. – 25 с.
2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03. - Введ. 01.01.05. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2003. – 81 с.
3. Рекомендации по проектированию системы вентиляции с естественным побуждением: Р1.04.081.11. Введ. 01.07.11. – Минск: Государственное предприятие "Институт жилища - НИПТИС им. Атаева С.С.", 2011. – 9 с.
4. Заполнение оконных и дверных проёмов. Правила проектирования и устройства: ТКП 45-3.02-223-2010. - Введ. 01.05.11. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 25 с.



## РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ И ЗАКОНЫ ДИАЛЕКТИКИ

Строительные сооружения и конструкции рассчитываются для того, чтобы обеспечить безопасность, надежность и долговечность их работы и эксплуатации под нагрузками и воздействиями при соблюдении их экономичности, то есть минимальных расходов материалов, затрат на изготовление и монтаж и т.п.

Первые теоретические основы расчета строительных конструкций в строгом виде были сформулированы в XIX веке, когда был разработан метод расчета конструкций по допускаемым напряжениям, который применялся вплоть до 1938 года. По методу допускаемых напряжений требуется [1], чтобы наибольшее напряжение, возникающее в опасной точке, не превышало так называемого допускаемого напряжения:

$$\sigma_{\max} = \frac{S}{\Gamma} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{оп}}}{K}; \quad \Delta \leq [\Delta],$$

где  $S$  – усилие в элементе, сечении и т.д. (продольная сила  $N$ , изгибающий момент  $M$  и т.д.);  $\Gamma$  – геометрический фактор (площадь  $A$ , момент инерции  $W$  поперечного сечения и т.п.);  $[\sigma]$  – допускаемые напряжения;  $\sigma_{\text{оп}}$  – опасные напряжения (для пластических материалов – предел текучести, для хрупких материалов – пределу прочности материала);  $K$  – коэффициент запаса прочности, назначаемый нормативно с учетом ряда факторов;  $\Delta$  – перемещения;  $[\Delta]$  – допускаемые перемещения.

Теория основывалась на предположении об упругой работе материала, пропорциональности напряжений и деформаций до исчерпания возможности эксплуатации конструкций. Недостатком метода расчета по допускаемым напряжениям является то, что влияние различных факторов, влияющих на прочность элемента, учитывается одним (общим) коэффициентом запаса прочности, не учитывается многофакторность причин исчерпания возможностей эксплуатации конструкций, поэтому был неточным. Метод давал надежные результаты, но приводил к неэкономичным решениям, к неоправданному перерасходу материала за счет неизбежного завышения коэффициента запаса  $K$ .

С 1938 г. для расчета железобетонных конструкций стала применяться теория расчета по разрушающим (предельным) усилиям  $S$  (нагрузкам  $F$ ). Ее основное уравнение:

$$S < [S] = \frac{S_{\text{пред}}}{K},$$

где  $S_{\text{пред}}$  – предельное усилие в элементах – определялось с учетом свойств материала в стадии разрушения (например, с учетом диаграммы Прандтля);  $K$  – коэффициент запаса, по-прежнему общий и поэтому неточный, ведущий к неоправданному перерасходу материала, излишней несущей способности конструкций и неэкономичности решений.

Развитие науки продолжалось, более точными становились экспериментальные методы определения свойств материалов, расширялись теоретиче-

ские исследования, развивались методы расчета, используемые теории и подходы к расчетам все больше не удовлетворяли возрастающим объемам строительства и требованиям экономичности.

И с 1955 г. в СССР для расчета строительных конструкций был принят метод расчета по предельным состояниям, дающий возможность более гибкого учета влияния различных факторов на прочность элементов сооружения и устанавливающий связь расчета с эксплуатационными критериями годности сооружения.

В методе расчета по предельным состояниям принято две группы предельных состояний, ограничивающих нормальную эксплуатацию конструкций или делающих ее вообще невозможной.

1-я группа – по непригодности к дальнейшей эксплуатации. В нее входят:

- вязкое, хрупкое или усталостное разрушение;
- потеря устойчивости формы (общая или местная);
- потеря устойчивости положения (например, для подпорных стенок);
- качественное изменение конструкции, превращение ее в геометрически изменяемую систему;
- чрезвычайно большие деформации, связанные с текучестью материала, резонансом, недопустимые остаточные деформации и др.
- одновременное действие силовых факторов и окружающей среды.

Переход за предельное состояние первой группы – это всегда большие потери, часто сопровождающиеся утратой ценного оборудования и даже гибелью людей. Поэтому переход за предельные состояния этой группы недопустим ни в коем случае за весь срок эксплуатации конструкций. Тем более, что неизвестно, когда произойдет этот переход за предельное состояние: во время возведения сооружения или после многих лет его эксплуатации.

Основное уравнение предельных состояний 1-й группы:

$$S_p \leq \Phi.$$

Здесь:  $S_p$  – самое опасное, вероятное при заданных условиях за весь срок эксплуатации усилие в конструкции, ее элементе при самом невыгодном сочетании нагрузок и воздействий, получаемое от действия расчетной нагрузки. Расчетная нагрузка определяется путем умножения нормативной нагрузки на коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$ :

$$F_p = F_n \cdot \gamma_f;$$

$\Phi$  – несущая способность конструкции, ее элемента, определяемая через нормативное сопротивление материала и геометрические характеристики сечения:

$$\Phi = R_m A_c \frac{\gamma_c}{\gamma_m},$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы (учитывает по существу степень идеализации расчетной модели, включая отклонения от заданных размеров, начальные несовершенства, условия эксплуатации, влияние возможной коррозии и т.п.);  $\gamma_m$  – коэффициент надежности по ответственности (учитывает степень ответственности сооружений).

2-я группа – по непригодности к нормальной эксплуатации или снижению долговечности конструкций. Это появление недопустимых перемещений в

широком смысле (линейные, углы поворота, колебания, появление или чрезмерное раскрытие трещин и т.п.). Основное уравнение предельных состояний 2-й группы говорит о том, что расчетное перемещение (прогиб) не должно превышать его предельной величины:

$$\Delta_p \leq \Delta_{pl}$$

За прошедшие годы эта методика неоднократно модернизировалась, но ее основа – отдельный учет разных факторов, влияющих на пригодность конструкций к эксплуатации и вероятностный подход к обеспечению пригодности конструкций к эксплуатации – сохранилась.

К концу XX века и метод расчета по предельным состояниям перестал соответствовать уровню развития науки и требованиям времени.

Широкое развитие получили вероятностные подходы в оценке свойств материалов, в оценке величин нагрузок, что позволило определять более точные их значения, более глубокое развитие получили методы расчета, учитывающие нелинейную работу материалов, более четко стало возможным определять предельное состояние сечений, а также конструкций и сооружений в целом. Серьезное развитие получили и методы оценки надежности конструкций и сооружений.

Сегодня (с 2015 года) расчет строительных конструкций в Республике Беларусь выполняется по Евронормам. Подходы и методы расчета вобрала в себя результаты научных исследований многих стран, получили международный уровень. Здесь прослеживается и переход от национального к интернациональному.

Изложенная история развития методов расчета строительных сооружений четко иллюстрирует и подтверждает действие закона отрицания отрицания, одного из основных законов диалектики [2].

Закон отрицания отрицания характеризует направление процесса развития, единство поступательности и преемственности в развитии, возникновение нового и относительной повторяемости некоторых моментов старого. Впервые был сформулирован Г. Гегелем, хотя отдельные черты этого закона (диалектический характер отрицания, роль преемственности в развитии, нелинейный характер направления развития) фиксировались и в предшествующей истории философии.

Отрицание старого происходит в результате действия объективных законов, как процесс разрешения, возникающих внутренних противоречий – несоответствия потребностей общества и уровня подходов в методах расчета.

Современная модель закона отрицания отрицания в развитии методов расчета в теории сооружений включает:

прогрессивную направленность действия закона, ведущего к повышению уровня точности расчета, к учету все большего количества факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние элементов сооружения;

рост упорядоченности структуры (уменьшение ее энтропии) от отрицания к отрицанию на основе накопления информации, экспериментальных данных и теоретических исследований;

зависимость характера отрицания от уровня организации, в уменьшении доли элиминируемого от скачка к скачку, при переходе к более точным методам расчета;

относительную завершенность процесса самоорганизации после ряда циклов (отрицаний), и переходу к более глобальным подходам, учитывающим более широкий спектр результатов исследований (переход к Евронормам).

В приведенном виде закон отрицания отрицания наиболее полно выражает (и отражает) диалектическую концепцию развития. В нем как бы сконцентрирована центральная проблема диалектики – теория развития, ибо закон отрицания отрицания раскрывает механизм развития как борьбу противоположностей, формулирует понятия диалектического ритма движения и цикличности, связанных с усилением и снятием противоречий. Закон отображает не только преемственность и скачкообразность переходов возросшего количества в новое качество, но и диалектику и прогрессивную направленность этих переходов. При этом закон отрицания отрицания заключает в себе огромный мировоззренческий смысл и является не только одним из всеобщих законов диалектики, но как бы синтезирует в себе и другие законы диалектики.

Диалектическое отрицание не просто удерживает часть отрицаемого, но преобразует его применительно к новому качеству. Развитие совершается таким образом, что оставшиеся от старого элементы структуры и соответствующие им свойства приобретают новые свойства, подчиняются новым законам. Таким образом, диалектическое отрицание выполняет роль связующего звена между старым и новым, обеспечивая преемственность в развитии.

#### **Список цитированных источников**

1. Снитко, Н.К. Строительная механика: учебник для вузов / Н. К. Снитко. – М. : Высшая школа, 1980. – 431 с.
2. Лебедев, С.А. Философия / С. А. Лебедев [и др.]. – М. : МГУ, 2004. – 304 с.

УДК 624.014.2

**Веренич А.А.**

*Научный руководитель: доц. Зинкевич И.В.*

### **ВЛИЯНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОФОРМОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

В последние годы в Республике Беларусь остро стоит вопрос экономии материалов и ресурсов, как в строительной отрасли, так и в других отраслях промышленности. Так же важным фактором является трудоемкость и время возведения зданий и сооружений. Все эти предпосылки дали возможность развития в нашей стране технологии легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК). Технология ЛСТК представляет собой альтернативный способ каркасного строительства. В его основе лежат тонкостенные холодногнутые оцинкованные профили (сокращенно ТХП) различного сечения и толщины (чаще всего до 3 мм), скрепленные между собой при помощи самонарезающих винтов или болтов. Профили производятся в условиях завода на современном автоматизированном оборудовании путем холодного формования.

Особенностью проектирования и расчета конструкций из ТХП является их тонкостенность. При определении несущей способности и жесткости холодноформованных элементов следует учитывать влияние потери местной устойчивости и устойчивости формы сечения. Влияние потери местной устойчивости учитывается с помощью геометрических характеристик эффективного сечения, рассчитанных на основе эффективной ширины. Влияние потери устойчивости формы сечения следует учитывать для элементов с краевыми или промежуточными элементами жесткости (рис. 1). В этих случаях влияние по-

тери устойчивости формы сечения оценивают линейным или нелинейным расчетом на устойчивость, численными методами или испытаниями коротких стоек.



**Рисунок 1 - Примеры потери устойчивости формы сечения**

Несущую способность тонкостенных профилей можно определить по следующему алгоритму:

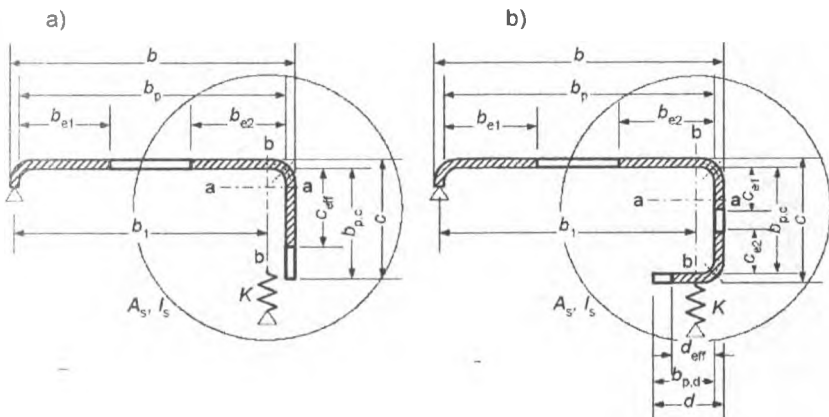
1) Для длин полуволн вплоть до полной длины элемента вычисляются напряжения, соответствующие потере устойчивости в упругой стадии и установить адекватную форму потери устойчивости.

2) Рассчитывается эффективная (приведенная) ширина для частей поперечного сечения, потерявших местную устойчивость при минимальном напряжении.

3) Рассчитывается уменьшенная толщина для краевых и промежуточных элементов жесткости или других частей поперечного сечения, подверженных потере устойчивости формы сечения под действием минимальных напряжений.

4) Рассчитывается сопротивление, соответствующее общей потере устойчивости (продольный изгиб, крутильная или изгибно-крутильная формы потери устойчивости в зависимости от типа потери устойчивости), для номинальной длины элемента с эффективным сечением, определенным в пунктах 2) и 3).

Поперечное сечение краевого отгиба должно быть принято состоящим из эффективной части элемента жесткости, т. е. части с или частей с и d, как показано на рисунке 2, плюс примыкающая эффективная часть плоского участка  $b_p$ .



a — одиночный краевой отгиб;

b — двойной краевой отгиб

**Рисунок 2 - Краевые отгибы:**

Алгоритм определения эффективной ширины сжатых полок с элементами жесткости в виде отгибов должен содержать следующие этапы:

– этап 1. Определяется начальное эффективное сечение элемента жесткости с использованием эффективной ширины, определяемой при  $K=\infty$  и  $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$ .

Начальные значения эффективной ширины  $b_{e1}$  и  $b_{e2}$ , приведенные на рисунке 2, определяют с допущением, что плоский элемент  $b_p$  оперт по двум сторонам. Начальные значения эффективной ширины  $c_{eff}$  и  $d_{eff}$  необходимо определять следующим образом:

$$c_{eff} = \rho b_{p,c} \quad d_{eff} = \rho b_{p,d} \quad (1)$$

где  $\rho$  определяют с учетом коэффициента потери устойчивости пластины  $k_{\sigma}$ .

– этап 2. Определяют коэффициент снижения сопротивления при потере устойчивости формы сечения (изгибная форма потери устойчивости краевого элемента жесткости), используя начальное эффективное сечение элемента жесткости и предполагая наличие непрерывной упруго-податливой опоры.

Коэффициент  $\chi_d$  снижения сопротивления вследствие потери устойчивости формы сечения (изгибная форма потери устойчивости краевого элемента жесткости) следует определять в зависимости от величины критического напряжения потери устойчивости краевого отгиба  $\sigma_{cr,s}$  с использованием относительной гибкости  $\bar{\lambda}_d$ .

$$\begin{aligned} \chi_d &= 1,0 && \text{при } \bar{\lambda}_d \leq 0,65 \\ \chi_d &= 1,47 - 0,723 \bar{\lambda}_d && \text{при } 0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38 \\ \chi_d &= \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d} && \text{при } \bar{\lambda}_d \geq 1,38 \end{aligned} \quad (2)$$

Критическое напряжение  $\sigma_{cr,s}$  потери устойчивости краевого отгиба в упругой стадии определяют по формуле:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\sqrt{KEI}}{l} \quad (3)$$

где  $K$  – жесткость связей на единицу длины;

$I_s$  – момент инерции эффективного сечения отгиба, определенный по эффективной площади краевого отгиба, относительно центральной оси  $a-a$  эффективного сечения (см. рисунок 2).

– этап 3. Коэффициент снижения сопротивления при потере устойчивости формы сечения уточняется итерационным расчетом.

Редуцированную эффективную площадь сечения элемента жесткости  $A_{s,red}$  с учетом изгибной формы потери устойчивости определяют по следующей зависимости:

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_{yb} / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}} \leq A_s \quad (4)$$

где  $\sigma_{com,Ed}$  – сжимающее напряжение на уровне центральной оси элемента жесткости, рассчитанное для эффективного сечения

При определении геометрических характеристик эффективного сечения редуцированная эффективная площадь  $A_{s\text{red}}$  учитывается с использованием при ее вычислении уменьшенной толщины  $t_{\text{red}} = tA_{s\text{red}}/A_s$  для всех элементов, включенных в  $A_s$ .

По описанному выше алгоритму был выполнен расчет трех типов стержней как с учетом потери устойчивости формы сечения, так и без него, т.е. с раскреплением элементов жесткости (см. табл. 1).

Таблица 1 – Результаты расчета сжатых стержней

№	Тип поперечного сечения	Длина стержня, см	Несущая способность без раскрепления элементов жесткости, кН	Несущая способность с раскреплением элементов жесткости, кН	Снижение несущей способности, %
1	C	20	20.34	23.75	14.4
2	C	30	20.34	23.75	14.4
3	ОМЕГА	80	426.99	439.04	2.7

В ходе экспериментальных исследований были проведены испытания четырех С-образных и четырех ОМЕГА-образных профилей (см. табл. 2). Чтобы оценить влияние эффекта потери устойчивости формы сечения, два образца каждого типа выполнены с раскреплением элементов жесткости (рис. 3). Также был выполнен конечно-элементный анализ данных стержней на базе NX NASTRAN (см. табл. 3).

Таблица 2 – Результаты испытаний

№	Тип сечения	Длина стержня, см	Результаты натуральных испытаний		Снижение предельной нагрузки, %
			Предельная нагрузка без раскрепления элементов жесткости, кН	Предельная нагрузка с раскреплением элементов жесткости, кН	
1	C	20	33.8	36.8	8.2
2	C	30	27.7	35.0	20.9
3	ОМЕГА	80	442.45	480.7	8.0

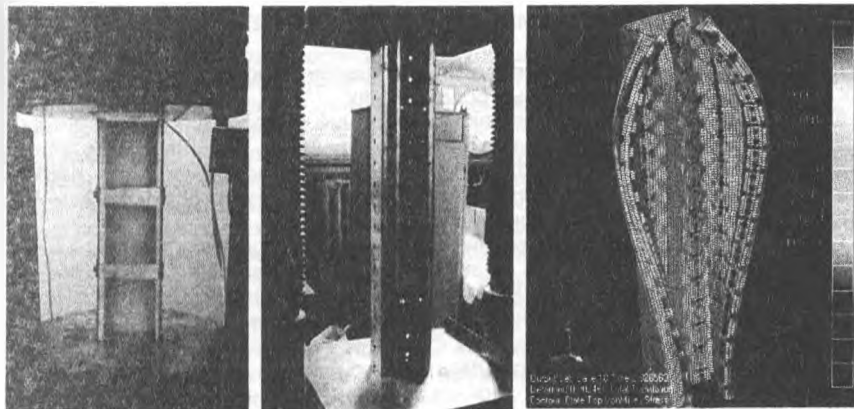


Рисунок 3 – Стержни в испытательных машинах и результаты расчета в NX Nastran

Таблица 3 – Результаты расчета в NX Nastran

№	Тип сечения	Длина стержня, см	Численное моделирование в NX Nastran		Снижение предельной нагрузки, %
			Предельная нагрузка без раскрепления элемента жесткости, кН	Предельная нагрузка с раскреплением элемента жесткости, кН	
1	С	20	23.28	34.98	33.4
2	С	30	37.49	37.58	0.2
3	ОМЕГА	80	423.69	456.53	7.2

**Выводы:**

Разработана методика экспериментального и численного исследования влияния эффекта потери устойчивости формы сечения на несущую способность сжатых стержней из ЛСТК.

Сравнение экспериментальных, численных и теоретических расчетов показывает достаточно хорошую сходимость результатов.

В исследуемых образцах выявлено снижение несущей способности сжатых стержней от 8 до 20%, в зависимости от геометрических параметров элементов и их сечений, что весьма существенно.

**Список цитированных источников**

1. ТКП EN 1993-1-3:2009. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов – Минск: МАИС РБ, 2014. – 119 с.
2. Гарднер Л., Нетеркот Д.А. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 3: Проектирование стальных конструкций EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-8. – Москва: МГСУ, 2012. – 224 с.

УДК 378.14(07)

**Винник А.Н., Борисевич Р.В.**

*Научный руководитель: зав. кафедрой НГ и ИГ Винник Н.С.*

**КРИВЫЕ В АРХИТЕКТУРНЫХ СООРУЖЕНИЯХ**

Цель данной работы – наглядное представление использования различных кривых линий в архитектурных сооружениях.

С каждым направлением архитектурных линий и масс связан определенный эмоциональный тон, некая экспрессивная ценность. Так, например, горизонтальное направление символизирует покой, прочность, тяжесть; вертикальное направление внушает представление деятельности, роста; кривые же линии обычно воплощают движение, динамику.

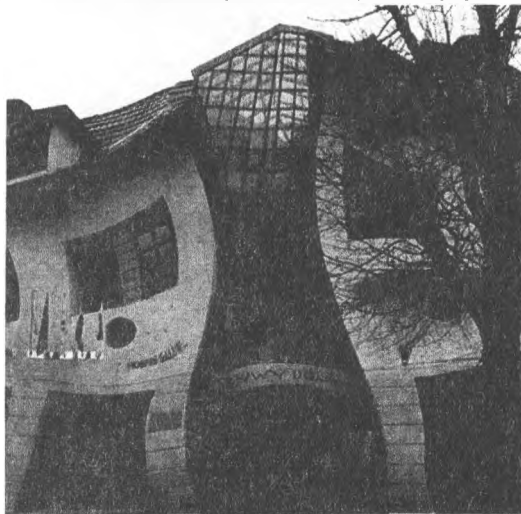
Однако архитектор лишь в редких случаях может довольствоваться контрастом одних горизонтальных и вертикальных направлений. По большей части как переход между ними, как их завершение и соподчинение он вводит косые линии (раскосы в деревянной конструкции, готические контрфорсы, тетиры лестниц, объединяющие изломы ступеней, в особенности же скаты крыши или фронтона). Само собой разумеется, что и косые линии могут приобретать совершенно различный эмоциональный тон – подчеркивать то устремление вверх, то тяжелое свисание – в зависимости от своей длины и большей или меньшей степени покатости. Кривые линии внушают композиции спокойствие, если они мало меняют направление или повторяются в одинаковом из-



гибе; напротив, кривые линии вызывают впечатление стремительной динамики, беспокойства, волнения, если они неожиданно меняют направление или сплетаются между собой (северный орнамент). Наконец, не следует забывать, что эмоциональный тон линии часто зависит не только от ее направления, но от самого характера нажима, слабого или сильного, тонкого или густого, от цвета линии и степени ее выпуклости.

"Кривой дом" (рис.1) запроектировали и построили в 2004 году в городе Сепот (Польша) два архитектора – Шопотинский и Зелевской.

Следуя высказыванию "в природе нет прямых линий и прямых углов", архитекторы пытались максимально приблизить архитектуру к природе.



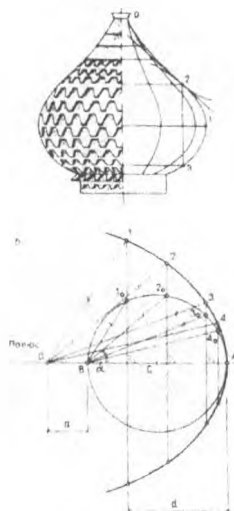
**Рисунок 1**

Актуальность нашего исследования состоит в том, что архитектурные объекты являются неотъемлемой частью нашей жизни. Наше настроение, наше мироощущение зависят от того, какие здания нас окружают. Назрела необходимость исследования того многообразия объектов, которые появились в округ нас. Если раньше архитектурные конструкции представляли собой однообразные сооружения, то в настоящее время геометрические формы позволили разнообразить архитектурный облик городов.

В современной архитектуре использованы разнообразные геометрические формы, которые собраны в необычные архитектурные конструкции.

Кривые линии широко применяются в архитектуре и строительстве. По кривым линиям очерчиваются различные пространственные формы — арки, своды и т.п. Кривые линии применяются для образования поверхностей различных архитектурных объектов и конструкций зданий — покрытий в виде оболочек, сводов и куполов, пандусов и винтовых лестниц. В процессе архитектурного проектирования кривые линии как элемент разнообразных криволинейных форм встречаются довольно часто. Кривые линии могут быть результатом пересечения поверхностей, они могут быть краевыми контурами отсечков поверхностей — оболочек или видимыми и очерковыми контурами поверхностей и т.д.

Кривые линии в начертательной геометрии рассматриваются как непрерывная совокупность последовательных положений движущейся точки, а также как линия пересечения поверхностей [1,2]. Если все точки кривой линии лежат в одной плоскости, то такая кривая называется плоской. Примером могут служить окружность, эллипс, парабола. Если кривая не лежит всеми своими точками в плоскости, то она называется пространственной, например винтовые линии. Кривые линии подразделяются и по другим признакам [1,2]. Кривая может быть описана (задана) аналитически, т.е. уравнением (алгебраическим или трансцендентным), например эллипс, парабола и др. Если образование кривой не имеет строгой закономерности, то она задается графически, например горизонтали на плане местности.



**Рисунок 2**

На рис. 2, а показано построение формы главки. Кривая ее очерка представляет собой сочетание двух кривых, отображающих различные условия работы материала (линия 0 — 2 — растяжение, линия 2 — 1 — 3 — сжатие). Последний участок выражает линию равного сопротивления — очертание изогнутой гибкой рейки.

Рассмотрим графическое построение линии изогнутой рейки (рис. 2, б). На прямой линии выбирают точку  $O$  — полюс и вершину  $A$  кривой. Вычерчивают окружность, центр которой лежит на прямой  $OA$ . На отрезке  $AB$  проводят ряд прямых, перпендикулярных ему. Из точки  $B$  проводят лучи к точкам пересечения параллельных прямых с окружностью (точки 10, 20, 30, 40), а из точки  $O$  проводят лучи, параллельные соответствующим лучам первого пучка, также до пересечения с параллельными прямыми. Получим искомые точки 1, 2, 3, 4. Величина параметра  $a$  относительно диаметра окружности определяет степень изгиба, если он уменьшается — изгиб увеличивается.

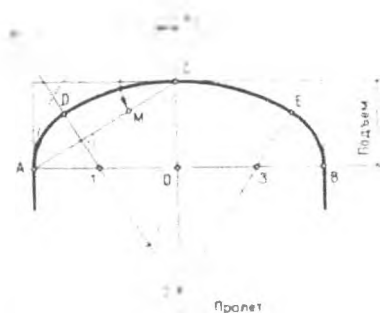
Практическое применение вышеописанные построения нашли в куполах, например, храма Василия Блаженного (рис.3)



**Рисунок 3**

Зодчие прошлого, пользуясь изогнутой рейкой, определяли, а затем прорисовывали энтазис – незначительную припухлость ствола колонны.

В архитектуре и строительстве применяются и так называемые составные кривые [3]. На рис. 4 приведено построение коробовой кривой очертания пологого свода. Кривая задана пролетом АВ и подъемом ОС свода и состоит из трех дуг окружностей. Точки сопряжения дуг D и E и центры дуг 1, 3 и 2 определяют следующим образом. На диагонали АС строим разность полуосей – отрезок АМ.



**Рисунок 4**

Через середину этого отрезка проводим прямую до пересечения с осями кривой в точках 1, 2 и 3. Точки D и E сопряжения дуг — гладкие точки. Однако в этих точках радиусы кривизны кривой меняются скачкообразно, например, в точке D — два радиуса, равные  $D - 1$  и  $D - 2$ . Коробовая кривая гладкая, но не плавная [3].

Коробовые кривые широко применяются при проектировании и строительстве арок и сводов (рис.5).

**Геометрия** – это наука о свойствах геометрических фигур.

**Архитектура** – это вид искусства, представляющий собой систему зданий и сооружений, формирующих пространственную среду для жизни человека.



**Рисунок 5**

В результате проделанной работы выяснилось, что геометрия с архитектурой непосредственно связаны – геометрия является незаменимой частью архитектуры, одной из ее основ.

Геометрические формы определяют эстетические, эксплуатационные и прочностные свойства архитектурных сооружений разных времен и стилей. Причем для каждого архитектурного стиля характерен определенный набор геометрических форм зданий и сооружений в целом и их отдельных элементов. С развитием строительных технологий возможности применения геометрических форм расширяются.

Геометрия была рассмотрена как теоретическая база для создания произведений архитектурного искусства. Были сформулированы представления об объективности математических отношений, проявляющихся в архитектуре как в одной из форм отражения реальной действительности.

**Список цитированных источников**

1. Гордон В.О., Семенцов-Огиевский М.А. Курс начертательной геометрии – М.: Высшая школа, 1998. – 272 с.
2. Миронов Б.Г., Миронова Р.С. Инженерная графика. – М.: Высшая школа, 2008. – 279 с.
3. Гильберт. Д. Наглядная геометрия. – М.: Наука, 1981. – 344с.

УДК 711.581(476.7)

**Горбач В.В., Куницкая Е.В.**

**Научный руководитель: доцент Фоменкова С.Ф.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ПЛАНИРОВКУ ЖИЛОЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ МИКРОРАЙОНА «ЮГО-ЗАПАД №4»**

Цель работы заключается в изучении и исследовании факторов, влияющих на планировку жилой среды на примере микрорайона «Юго-Запад №4» г. Бреста

**Введение.** В современной проектной практике прочное место занимают представления о жилище как о иерархически построенной системе, простирающейся от мира вещей в семейном быту до поселения в целом. Утвержде-

ние этих представлений в реальных и футурологических проектах, в теории и в постройках составляет характерную особенность новейшей истории создания жилища. Еще в 20-е годы многие архитекторы стремились раздвинуть границы проектирования жилья до разработки мебели и оборудования. Известно немало проектов того и более позднего времени, в которых моделируется социально-бытовое обслуживание в жилом доме и вне его, обозначаются зоны индивидуальной и общественной деятельности. Все более активное выражение в жилищной проблематике получал градостроительный аспект. Таким образом, понятие "жилище" было значительно расширено, а в 60 - 70-е годы получило распространение еще одно более точное определение этой системы как жилой среды.

Качество жилой среды определяется ее функционально-планировочными, гигиеническими, техническими и эстетическими характеристиками, которые в равной степени важны и для квартиры, и для сельских зон. Наличие этих характеристик обеспечивает комфорт проживания, а следовательно, и социальную эффективность жилой среды. Достижение комфорта составляет главную цель проектирования. Для реализации этой цели требуется выполнять целый ряд сложных требований и учитывать комплекс специфических факторов.

Факторы, влияющие на планировку жилой среды:

- Ориентация: широтная и меридиональная (инсоляция)
- Направление и характер воздействия ветров (аэрация)
- Температура воздуха
- Транспортные магистрали (шум, конфигурация участка)
- Рельеф местности
- Транспортное обслуживание жилых образований и организация пешеходных связей
- Характер окружающей застройки
- Колористика жилой среды
- Архитектурные достопримечательности

Инсоляция — важный санитарно-гигиенический фактор внешней среды. Под инсоляцией понимают непосредственное, прямое солнечное облучение внутренних помещений жилых и общественных зданий, и территории жилой застройки.

На инсоляцию влияют: конфигурация планов, разрывы между зданиями, высота зданий.

Оптимальная эффективность инсоляции (ее общеоздоровительное, психофизиологическое, бактерицидное и тепловое воздействия) достигается при обеспечении ежедневного непрерывного 2 - 3-х часового облучения прямыми солнечными лучами помещений жилых и общественных зданий, территорий жилой застройки.

Продолжительность инсоляционного периода регулируется ориентацией фасадов зданий по сторонам горизонта. Детальный расчет продолжительности инсоляции выполняется по инсоляционным графикам дифференцированно в зависимости от географической широты, типа квартир, функционального назначения помещений и планировочных зон города. Использование набора различных секций обеспечивает широкую градостроительную маневренность планировочных решений.

Условия инсоляции внутридворовой территории зависят от месторасположения зданий, величины разрывов между ними, этажности зданий, их конфи-

гурации и ориентации относительно сторон горизонта. Зная закономерности инсоляции, можно обоснованно решать вопрос о выборе мест для посадки деревьев, кустарников, а так же об определении мест возле зданий, где не следует садить деревья, которые могут значительно ухудшить условия естественного освещения помещений, расположенных на нижних этажах зданий.

Для оценки условий инсоляции территории составляют карту инсоляции.

Аэрация жилой территории – важный фактор внешней среды. Учет ветрового режима жилой застройки в условиях загрязнения городской среды промышленными и транспортными выбросами приобретает большое значение в связи с необходимостью улучшения санитарно-гигиенических условий городской среды.

Аэрационный режим жилой застройки, устанавливаемый применительно к так называемому «слою обитания человека» на высоте 2 м от земли, считается комфортным, если скорость ветра не превышает 5 м/сек. С нарастанием скорости ветра возрастает дискомфорт, а застой воздуха способствует созданию антисанитарного состояния.

Наиболее важными характеристиками ветрового режима являются преобладающее направление ветра и его скорость. Эти климатические показатели необходимы для обеспечения чистоты воздушного бассейна в городе – селитебная зона его должна располагаться на наветренной стороне по отношению к объектам, загрязняющим воздух.

Повышение или ослабление ветрового потока непосредственно влияет на теплоощущение человека, повышая или понижая его комфорт. Отсюда очевидна важная роль регулирования аэрационного режима жилой застройки различными градостроительными методами, в том числе и элементами благоустройства.

С помощью градостроительных средств обеспечивается увеличение или уменьшение скорости ветра путем создания на жилых территориях различными приемами застройки зон «ветрового затенения», длина которых определяется соотношением длины и высоты здания и его расположением относительно направления господствующих ветров.

Для оценки условий аэрационного режима жилой застройки территории составляют карту аэрации.

Температура воздуха — основной фактор, определяющий тепловой режим зданий и микроклимат города. При планировке города в сильно пересеченной местности необходимо иметь в виду, что разность температур воздуха на холме и в долине, на различно ориентированных склонах холма, на побережьях водохранилищ и т. д. может достигать нескольких градусов. Особенно отличаются друг от друга экстремальные значения температуры. Распределение температуры воздуха с высотой оказывает влияние на чистоту воздуха в городе. Например, при наличии частых инверсий (когда температура с высотой повышается и состояние атмосферы устойчиво) уменьшается турбулентное перемешивание воздуха и тормозится его восходящее движение. Вследствие этого все промышленные выбросы задерживаются в приземном слое атмосферы.

Для разработки архитектурно-планировочных решений для создания комфортных условий наилучшим образом на местности, где планируется строительство, производятся метеорологические изыскания.

Основным источником шума для жилой застройки является автомобильный транспорт на магистральных улицах и дорогах. Для соблюдения допусти-

мого уровня шума используют специально выполненные расчеты шумовых характеристик транспортных потоков на улицах в час «пик», а также источников шума внутри группы жилых домов в децибелах (дБА). Так, допустимый уровень для транспортных потоков на всех категориях улиц определен в 73-87 дБА, территории микрорайонов - 45 дБА, помещений школ - 40 дБА, жилых помещений квартир - 30 дБА. Снижения уровня шума добиваются путем использования естественных и искусственно создаваемых элементов рельефа, размещением вдоль источников шума так называемой экранирующей застройки и устройств, шумозащитных домов (спальные комнаты их квартир отнесены на противоположную от магистрали сторону дома), жилых зданий с повышенной звукоизоляцией.

Поиск лучшего решения шумозащиты – часть градостроительной задачи, поэтому он должен осуществляться в комплексе работ по планировке, застройке и благоустройству городов. Все решения должны проверяться расчетом эффективности снижения уровня шума.

Для оценки уровня шума жилой застройки территории составляют карту шума.

Большое влияние на планировку жилых образований оказывает рельеф местности. Рельеф предопределяет трассировку улиц и проездов, размещение зданий, может активно влиять на архитектурно-пространственное решение в целом. С рельефом может быть связана необходимость применения дорогостоящих методов инженерной подготовки и инженерного оборудования территории, специальных типов жилых зданий.

При уклонах 0,5-1% здания длиной до 100 м могут располагаться в любых направлениях. Уклон в 2-2,5% не влияет на размещение коротких (до 50 м) зданий. При уклонах 3-4% здания размещают либо параллельно горизонталям, либо с отклонением от них на 20-30%. При уклонах 5-15% здания располагают с отклонением от горизонталей не более 2-3%.

Среди других важных характеристик застройки следует назвать размещение жилых зданий относительно пешеходно-транспортных коммуникаций, учреждений обслуживания, зон отдыха и других элементов селитебной зоны.

Сеть улиц и проездов в жилых образования должны обеспечить:

- удобные внешние связи с основными узлами массового тяготения в городе и пригороде (местами приложения труда, городскими общественными центрами, узлами внешнего транспорта, местами отдыха и развлечений и другими);
- внутренние связи всех функциональных зон жилых образований между собой.

Важным условием формирования жилой среды является защита жилых зданий и придомовых территорий от вредного воздействия автомобильного транспорта.

Общая тенденция развития типов жилых зданий ведет к увеличению их многообразия, связанному с растущей дифференциацией потребностей населения и совершенствованием технических возможностей строительства. Сегодня диапазон типов застройки весьма велик - от многоквартирного дома с собственным садом до многоквартирного высотного здания, окруженного общественным озеленением. Включение всего этого многообразия в городской контекст должно отвечать специфике конкретных градостроительных условий.

При этом должны приниматься во внимание размеры города, особенности природно-ландшафтной ситуации, экономические обоснования, обусловленность каждого локального градостроительного решения пространственной композицией города в целом.

*Цветовое решение комплекса* - немаловажный фактор для его восприятия. Если комплекс смотрится издали, то вместе с архитектурно-пространственной композицией видны большие цветовые плоскости. Вблизи воспринимается архитектура конкретных зданий с нюансами цветовых соотношений его элементов и деталей. Цветовая гамма для оформления зданий должна хорошо сочетаться с окружающей средой. Элементы ландшафта могут значительно оживить урбанизированную застройку микрорайона.

**Заключение.** Исследовав факторы, влияющие на территорию микрорайона «Юго-Западный №4» г.Бреста, можно сделать вывод, что инсоляционный режим территории обеспечен в соответствии с нормами и гигиеническими требованиями. Т.е. с северной стороны располагаются парковки и пешеходные связи, а детские площадки расположены с южной стороны, тем самым обеспечивая оптимальную эффективность инсоляции.

В г. Бресте преобладает западное направление ветра. И в соответствии с господствующим направлением ветра, была построена карта аэрации. Оценив ее, можно заметить, что сильное проветривание осуществляется в месте расположения точечных домов. Чтобы избежать сквозняков в этих участках и защитить внутривдворовое пространство от ветров, следует осуществить посадку деревьев и кустарников. Лучшим ветрозащитным эффектом обладают ажурные конструкции посадок. Так как скорость ветра в г.Бресте до 5м/с, а сила ветра уменьшается вглубь микрорайона пропорционально, то можно сделать вывод, что благоустройство соответствует требованиям, предъявляемым к ветрозащите.

Для оценки шумозащиты микрорайона, была построена карта шума. При построении не учитывались дополнительные источники шума, например детские площадки, площадки для выбивания ковров и т.д., а основным источником шума для жилой застройки был принят автомобильный транспорт. Точечные дома, являющиеся вторым эшеленом застройки и расположенные внутри микрорайона, находятся в комфортной зоне. Точечные дома и дома переменной этажности, расположенные вблизи магистральной улицы, несут в себе функцию шумозащитных экранов. А так как здания имеют стеклопакеты, которые снижают уровень звука на 20-30 дБА в зависимости от производителя, то квартиры этих домов защищены от шума магистрали и обеспечены комфортными условиями для проживания.

Изучив теоретическую информацию и выполнив практическое исследование территории микрорайона «Юго-Западный №4» г.Бреста, можно сделать вывод, что микрорайон спроектирован в соответствии с требованиями, предъявляемыми к инсоляции, аэрации и шумозащите, и соответствует всем типам комфорта.

#### **Список цитированных источников**

1. Иодо И.А., Потаев Г.А. Основы градостроительства и территориальной планировки. Учебник для вузов. – Мн.: «УниверсалПресс», 2003. – 216 с.
2. Малоян Г.А. Основы градостроительства (учебное пособие): – М.: Ассоциации строительных вузов, 2008 – 152 с.
3. Самойлюк Е.П. Борьба с шумом в градостроительстве. Киев, «Будівельник», 1975 г. – 128 с.
4. Дунаев Б.А. Инсоляция жилища. – И: Стройиздат, 1979 г. – 104 с.



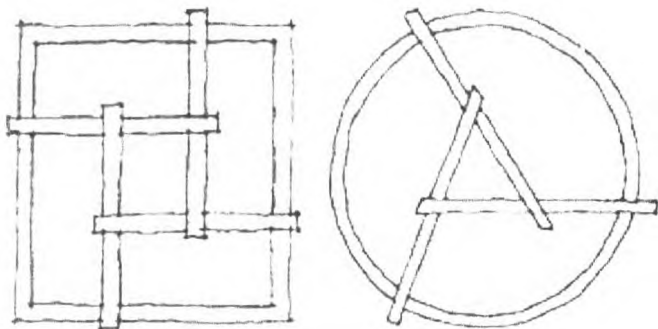
УДК 692.484

*Журынкина И.С., Климук Ю.С.*

*Научный руководитель: ассистент Ковенько Ю.Г.,  
ст.преподаватель Давыдюк А.И.*

## РЕСИПРОКАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ.

Целью данной статьи является рассмотрение такого интересного типа строительных конструкций как ресипрокальные или самоопирающиеся. Это конструкции, в которых не используется ни одного гвоздя, создаются посредством как минимум трех балок, образующих между собой узел самоопирающейся конструкции. Самоопирающиеся конструкции - широко известны как минимум с XII века, хотя описания встречаются и со времён Юлия Цезаря, использовались в строительстве японскими и китайскими архитекторами. Впервые эту конструкцию, как математический объект, исследовал и описал Леонардо да Винчи. Используя идею таких узлов, можно построить сложные трёхмерные структуры.



*Рисунок 1 – Общая схема самоопирания балок*

Крупных, многоэтажных зданий, используя эти конструкции, не возводят, идеи воплощаются в современном искусстве. Также используя ресипрокальные конструкции строят кровлю небольших домиков, еще это идеальное решение для легких беседок и шатров, где основой могут служить натуральные бревна – цельные стволы или крупные ветви. Также существуют самозапирающиеся конструкции – это развитие идеи самоопирающихся структур.

Вся прелесть этой крыши в том, что она не требует дополнительных опор, то есть каждая балка подпирает каждую и сама по себе является опорой, крыша как бы сама себя держит. Всё это очень понравилось фанатам саманных домов, так-как большое пространство может быть укрыто без особых претензий к прямоте балок.

Как ни странно, ресипрокальная конструкция, кажущаяся вроде не серьезной, выдерживает достаточно большой вес, а значит сможет не рухнуть под нагрузкой, которую даёт снег или покрытие из дерна, что тоже немаловажно в экологическом строительстве. По такому принципу сделана крыша собора в Линкольне.



*Рисунок 2 – Самоопирающаяся конструкция кровли*

Также существуют несколько вариантов самоопирающейся (ресипрокальной) укладки куполов:

- Геодезический
- Конусный
- Кива



*Рисунок 3 – Различные варианты самоопирающихся конструкций*

Эти конструкции популяризируют плотницкие работы, т.к. в основном возводятся из дерева. Даже места соединения деревянных балок могут быть изготовлены в нескольких геометрических вариациях и экономически эффективных при этом.

Российские математики А.Я.Канель-Белов и Ю.Эстрин получили несколько теоретических результатов на тему таких структур и у них возникла идея о применении подобных идей в конструкции композитных материалов. Так Ю.Эстриным был выигран грант правительства РФ и открыта лаборатория по исследованию возможностей применения таких структур на практике.

Что касается зарубежных опытов, работая с командой из 11 учеников в учебном центре в Касселе, создали первую тестовую структуру (павильон), состоящая из 180 деревянных элементов, которая была завершена на территории университетского городка. Архитекторы выдержали все в одном стиле, что доказывает довольно щедро творческую свободу, которые предоставляет система. В средней секции павильона конструктора сделали, немного похоже на ленту Мебиуса, его внутренняя поверхность становится наружной. Следовательно, это доказывает, что самоопирающиеся конструкции не ограничивают идеи и сложность, дают свободу действий, как и другие каркасы.

Практическое применение подобных структур лежит в области композитных материалов, в которых плохо распространяются трещины. Если материал сделать зернистым, и чтобы зёрна самозаклинили друг друга, то трещина, зародившись в зерне, остановится на его поверхности и не будет расти дальше. Такие материалы могут выдерживать высокое давление, устойчивы к разрушениям и обладают другими интересными свойствами. В настоящее время эти структуры изучаются российскими математиками в специально созданной лаборатории.

Главный минус самоопирающихся конструкций в том, что нагрузка приходится на середину стержня и поломка даже одного из них приведет к обрушению всей сети, т.е., если это не декоративная пергола для плюща и винограда, стержни нужно рассчитывать и подбирать по качеству очень строго.

#### **Список цитированных источников**

1. Olga Popovic Larsen. Reciprocal frame architecture/ Elsevier, 2008-196 с.
2. <http://trotil.diary.ru/p199330146.htm>
3. <http://habrahabr.ru/post/233407/>
4. <https://vk.com/reciprocal>

УДК 692.113

*Игнатюк Т.В.*

*Научный руководитель: проф. Черноиван В.Н.*

### **К ВОПРОСУ НОРМИРОВАНИЯ ЗАТРАТ ТРУДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ МЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ**

В 2009 году в Республике Беларусь взамен ЕНиР (Единичные нормы и расценки) для нормирования затрат труда в строительных, ремонтно-строительных, монтажных и приравненных к ним организациям были введены НЗТ (Нормы затрат труда) [1].

Однако по истечении почти 6 лет, данные изменения не коснулись нормирования на механизированные земляные работы. На сегодняшний день, действует ЕНиР, сборник 2 [2], который был утвержден постановлением Государственного строительного комитета СССР, Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам и Секретариата СССР по труду и социальным вопросам от 18 декабря 1990 г. № 109/452.

Исходя из того, что со дня введения [2] прошло более 25 лет и парк землеройных машин за это время существенно изменился (обновился), актуальной является задача адаптации действующего нормативного документа к сегодняшним условиям.

Анализ методики нормирования принятый в ЕНиР [2] позволяет сделать вывод, что в основу ее заложена норма времени. Так, рассмотрение нормирования времени на разработку  $100 \text{ м}^3$  грунта гидравлическим одноковшовым экскаватором обратная лопата (таблица 3, [2]) показывает, что основные параметры механизированного процесса: технические характеристики экскаватора, а так же организация и технология производства работ при разработке котлована не нашли отражения.

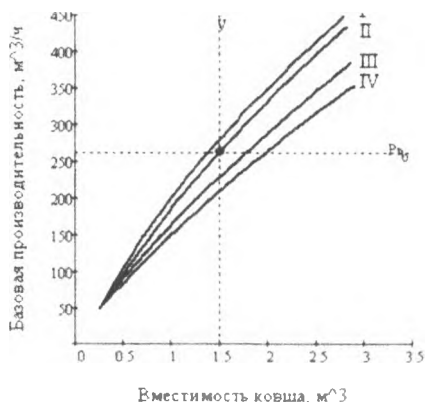
Учитывая, что основным параметром механизированных процессов технического нормирования разработки грунта является производительность землеройных машин, выполним анализ факторов влияющих на нее.

К основным факторам, влияющим на производительность экскаватора, относятся: трудность разработки грунта, которая оценивается категорией грунта и его состоянием; степень наполнения ковша; технические характеристики экскаватора, включающие в себя мощность экскаватора, массу, частота вращения поворотной платформы экскаватора, радиус и глубину копания; квалификация машиниста; вид забоя; организацию работы с погрузкой в транспортные средства и другое.

На сегодняшний день принята следующая классификация производительности землеройных машин: базовая, техническая, эксплуатационная.

Базовая производительность ( $P_6$ ), определяется экспериментальным путем. Выполняется тестирование новых машин, срок эксплуатации которой не превышает 2500 машиночасов. Тестирование выполняется в следующих условиях: угол поворота рабочего оборудования для разгрузки  $90^\circ$ , разгрузка производится в отвал, глубина копания является оптимальной, какие-либо ограничения препятствующие работе экскаватора на строительной площадке, отсутствуют, стрела установлена в среднее положение, работа идет не прерывно в течение одного часа.  $P_6$  определяется экспериментально для экскаваторов с различной вместимостью ковша, для различных типов грунтов.

На рисунке 1 представлена зависимость базовой производительности от вместимости ковша при работе на различных грунтах для экскаваторов, оборудованных рабочим оборудованием «обратная лопата».



**Рисунок 1** – Базовая производительность гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием «обратная лопата». I, II, III, IV- группы грунта [2]

Техническая производительность ( $P_{\text{тех}}$ ) отличается от базовой тем, что учитывает технические и технологические факторы, влияющие на конечную величину производительности.

Техническая производительность определяется по формуле:

$$P_{\text{тех}} = P_0 \cdot f_1 \cdot M^3 / 4, \quad (1)$$

$$\text{где } f_i = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6, \quad (2)$$

Выполняем оценку влияния выше перечисленных коэффициентов на производительность в целом.

$f_1$  - коэффициент, является критерием, учитывающим выбор оптимальной глубины копания для конкретной группы грунта, обеспечивающий за минимальное время, набор грунта в ковш «с шапкой».

$f_2$  - коэффициент, учитывающий угол поворота рабочего оборудования при разгрузке в транспорт. На строительной площадке не всегда можно установить транспортное средство обслуживающее экскаватор под загрузку так чтобы угол ровнялся  $90^\circ$ , а так же работать на максимальной частоте вращения поворотной части экскаватора. Н практике, коэффициент  $f_2$  - оценивает соотношение между максимальной  $n_{\text{max}}$  и минимальной  $n_{\text{ср}}$  частотой вращения поворотного механизма гидравлических экскаваторов в зависимости от угла поворота.

$f_3$  - коэффициент, учитывающий условия разгрузки. На время разгрузки влияет вместимость ковша, вид рабочего оборудования, категория грунта. Исходя из технологии производства механизированных земляных работ, при разработке котлована,  $f_3$  рассматривается, при работе экскаватора с погрузкой в транспортное средство [4].

$f_4$  - коэффициент, учитывающий рабочее состояние режущей кромки и зубьев ковша. Состояние режущей кромки и зубьев оказывает значительное влияние на сопротивление копанию, а значит, и на время цикла экскаватора. Значительное влияние на сопротивление копанию и время цикла оказывает и форма ковша. Для земляных работ ковши выполняются с зубьями, число которых зависит от ширины ковша и вида земляных работ. Ковшами с зубьями рекомендуется разрабатывать грунты I, II групп, а ковшом с плоским ножом, приваренным к днищу и боковым стенкам, целесообразно разрабатывать вязные, переувлажненные грунты I - IV групп.

$f_5$  - коэффициент, учитывающий установку стрелы. Установка стрелы, при разработке котлованов (когда забой ниже уровня стоянки экскаватора), должна быть такой чтобы экскаватор, находился за пределами бермы обрушения грунта (откоса забоя) [3].

$f_6$  - коэффициент, учитывающий тип транспортного средства, зависит от соотношения вместимостей кузова автомобиля и ковша экскаватора. Основным критерием при подборе комплекта машин для разработки котлованов должна быть экономическая составляющая, а так же Указ Президента Республики Беларусь от 26 ноября 2010г. № 613 «О проезде тяжеловесных и (или) крупногабаритных транспортных средств по автомобильным дорогам общего пользования».

Техническая производительность увязана только с техническими характеристиками экскаватора, и с организацией производства работ. Но, она не отражает фактическую производительность.

Наиболее полно технологический процесс разработки котлованов учтен в эксплуатационной производительности ( $P_э$ ), которая учитывает коэффициент использования рабочего времени ( $K_э$ ) [3]. Эксплуатационная производительность рассчитывается по следующей формуле:

$$P_2 = P_{\text{тех}} * K_6 * f_7, \quad (3)$$

где  $K_6$  – коэффициент учитывающий использование машины по времени;

$f_7$  - коэффициент, учитывающий разряд машиниста. В соответствии с Единым тарифно-квалификационным справочником работ и профессий рабочих, машинист экскаватора должен иметь 6 разряд.

Численное значение коэффициента  $k_6$  зависит от организации работ на строительной площадке. Он является показателем того, на сколько, эффективно используется рабочее время.

Следовательно эксплуатационную производительность можно принять в качестве базовой величины, при нормировании затрат труда на разработку котлована гидравлическим экскаватором обратная лопата.

Для реализации поставленной задачи была разработана программа «Автоматизация расчета производительности одноковшовых гидравлических экскаваторов в системе компьютерной математики MathCAD», позволяющая выполнить расчеты, с учетом всех коэффициентов указанных в (2). В работе рассматриваются экскаваторы на колесном ходу: ЕК-14-20 (г.Тверь), EW 1901 (г.Жлобин); на гусеничном ходу: ЕТ 2301 (г.Жлобин), ЭО-5124 (г.Воронеж), ЕТ-18 (г.Тверь), которые выпускаются в настоящее время и массово используются в строительстве.

Целью работы является, дать численные значения норм затрат труда по разработке котлованов экскаваторами обратная лопата, по результатам расчетов

Следовательно, для разработки норм затрат труда на разработку котлованов экскаватором, в расчётах учитываются такие основные технические характеристики экскаваторов (мощность экскаватора, массу, радиус и глубину копания, угол поворота, скорость поворота платформы, время цикла и т.д.), а так же организация и технология производства земляных работ конкретного объекта.

#### Список цитированных источников

1. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Вып.1. Здания и промышленные сооружения: НЗТ. Сборник 4. – Минск: Минсктипроект, 2009. - 97 с.
2. Земляные работы. Вып. 1. Механизированные и ручные земляные работы: ЕНиР. сб. Е2. Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1988. - 224 с.
3. Щемелев А. М., Партнов С. Н., Белоусов Л. И. Строительные машины и оборудование, практикум: Минск:Беларусь, 2011, с.231
4. Теличенко В.И. Технология строительных процессов: в 2-х ч./ В.И.Теличенко, ОМ Терентьев, А.А. Лапидус.- 4-у изд., стер.- Москва: Высш.шк.,2008. –Ч.1: учебник -391с.

УДК 624.014.2

**Марчук И.Н.**

**Науч. руководитель: к.т.н., проф., Уласевич В.П.; маг.т.н., ассист., Жданов Д.А.**

### К АВТОМАТИЗАЦИИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВНЫХ СЕЧЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Целью настоящей работы является разработка методики автоматизированного проектирования оптимальных составных сечений металлических конструкций.

Предмет исследования – методика компоновки оптимального составного сечения.

Объект исследования – металлические конструкции, имеющие составное сечение.

Задача проектирования составного сечения металлических конструкций достаточно распространена. Такие конструкции применяются в жилых, общественных и промышленных зданиях, в эстакадах, мостах, в различных инженерных сооружениях в виде колонн, балок и т.д. На составное сечение конструкций переходят, когда характеристики прокатных элементов не отвечают предъявляемым требованиям прочности, жесткости, устойчивости.

С компоновкой составных оптимальных сечений металлических конструкций связаны некоторые трудности, которые возникают в первую очередь из-за вариантности решаемой задачи, так как сечение имеет целый ряд переменных параметров, нерациональная комбинация которых может негативно отразиться на экономичности и технологичности проектируемых конструкций [1]. Для решения такой задачи обычно прибегают к различного рода условиям и приближениям, так, например, методика проектирования составного сечения двутавровой балки базируется на предположении, что оптимальным сечение будет в случае, когда масса стенки и масса полок равны между собой. На основе этого находится оптимальная высота путем исследования функции веса балки на экстремум, которая сведена к функции одной переменной (1).

$$h_{opt} = k \sqrt{\frac{W_{mp}}{\delta_{cm}}}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент зависящий от конструктивного оформления балки;  $W_{mp}$  – требуемый момент сопротивления;  $\delta_{cm}$  – толщина стенки.

Расчет по формуле (1) косвенно учитывает ряд параметров поперечного сечения и соотношения между ними (геометрические размеры составных частей) [2], что может привести к не самому оптимальному решению задачи, особенно при наличии дополнительных ограничений, а также при необходимости привязки к сортаменту листовой прокатной стали или к его части.

С учетом вышесказанного была разработана методика, позволяющая учесть указанные выше трудности, и автоматизировать процесс оптимального проектирования составного сечения конструкций. В ее основе лежит использование функции цели (функция множества переменных, подлежащая оптимизации), в качестве которой принята площадь сечения (2):

$$A = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2)$$

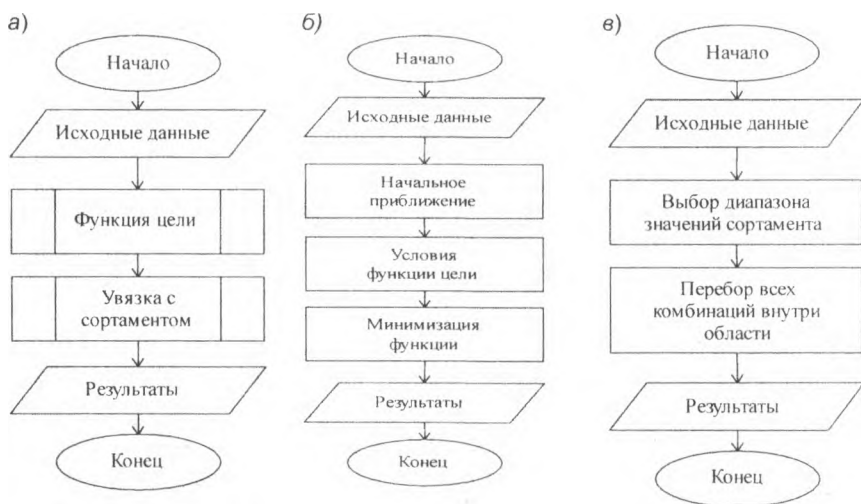
где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – геометрические характеристики элементов, составляющих сечение.

Эта функция многократно усложнена различными требованиями и условиями, предъявляемыми к ней (прочность, жесткость, устойчивость свесов полок, отсутствия продольных ребер, конструктивные требования и т.д.). Например, условие прочности по нормальным напряжениям имеет вид (3):

$$\sigma = \frac{M}{W(x_1, x_2, \dots, x_n)} \leq R_y(x) \gamma_c, \quad (3)$$

где  $W(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – момент сопротивления составного сечения, зависящий от геометрических характеристик элементов, составляющих сечение;  $M$  – изгибающий момент в расчетном сечении;  $R_y(x)$  – расчетное сопротивление стали, которое зависит от толщины проката;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы конструкции.

После анализа и представления в конечном виде, функция исследуется на экстремум. Поиск минимума функции цели становится возможным с использованием различных современных систем компьютерной алгебры, таких как Mathcad, Matlab и др. На рисунке 1 представлены блок-схемы обобщенного алгоритма методики оптимальной компоновки составного сечения.



а) методики компоновки сечения; б) функции цели; в) увязки с сортаментом

**Рисунок 1 – Укрупненные блок-схемы алгоритмов**

После минимизации функции цели осуществляется увязка аналитического решения задачи с дискретными величинами сортамента, путем выделения области в нем и перебора всех возможных вариаций внутри этой области с последующим выбором оптимальной комбинации параметров геометрических характеристик составного сечения.

Преимущества разработанной методики:

- Возможность применения при проектировании любых конструкций, имеющих составное сечение (необходимо лишь указать функцию площади и условия, ограничивающие ее).

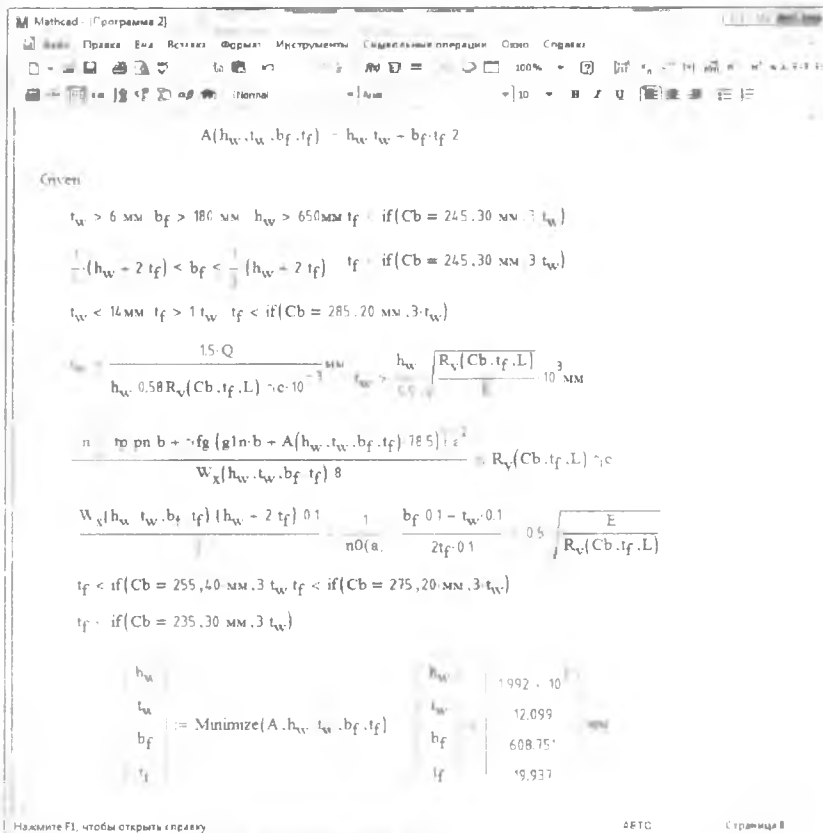
- Возможность применения при проектировании по любым нормам (необходимо указать актуальные условия и требования соответствующих норм)

- Возможность скомпоновать самое экономичное составное сечение при существующем сортаменте листовой стали (с учетом сортаментов местных металлообрабатывающих предприятий).

В настоящее время реализован алгоритм автоматизированного подбора эффективного составного сечения главной балки балочной клетки промышленного здания в вычислительной среде Mathcad [3]. Так же алгоритм включает в себя:



компоновку балочной клетки, подбор прокатных балок настила и второстепенных балок, сравнение нормального и усложненного типов балочной клетки, расчет настила и его крепления. Минимизация функции цели в задаче компоновки сечения главной балки показана на рисунке 2. Минимизация осуществляется с помощью встроенной функции «Given-Minimize».



**Рисунок 2 – К минимизации функции цели в задаче компоновки сечения главной балки**

#### Список цитированных источников

- 1 Вахуркин, В.М. Форма двутавровых балок в условиях наименьшего расхода материала в условиях наименьшей стоимости / В.М. Вахуркин // Вестник инженеров и техников №5 – 1951.
2. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов / Е.И. Беленя, В.А. Балдин и др. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 560 с.
3. Макаров, Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad 15. Учебный курс / Е.Г. Макаров – Санкт-Петербург: Издательство «Питер», 2011. – 400 с.

УДК 624.014.2

Мацкевич Ю.Н.

Научный руководитель: доц. Зинкевич И.В.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УЗЛОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОФОРМОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

За последние годы в странах СНГ стали уделять больше внимания использованию легких стальных тонкостенных конструкций из гнутых профилей в промышленном и гражданском строительстве. Это означает, что создана новая отечественная отрасль строительной индустрии, включающая разработку, изготовление и монтаж конструкций с использованием тонкостенных гнутых профилей из оцинкованной стали.

В отличие от традиционных металлических конструкций холодногнутые профили и конструкции из них имеют свои особенности:

- толщина применяемой стали 0,7-2,5 мм; используется только оцинкованная сталь высокого качества;

- повышенная жесткость тонкостенного профиля, с одной стороны, позволяет снизить расход металла, а с другой – усугубляет проявление местной потери устойчивости, изгибно-крутильной формы потери устойчивости, а также деформации сечения.

- предел текучести рулонной оцинкованной стали толщиной не более 3 мм увеличивается на 15-20 % с уменьшением ее толщины по сравнению с минимальным заявленным значением. Кроме того, предел текучести стали в местахгиба гнутого профиля в процессе его прокатки возрастает по сравнению с его значением на плоских участках (явление наклепа).

- сварные соединения заменяются соединениями на самонарезающих винтах, болтах и заклепках;

Для изучения работы узлового соединения было проведено испытание Т-образного узла. Схема испытания представлена на рисунке 1, нагружение производилось грузами весом 100 Н. Сечения узла выполнены из С-образного профиля производства Чешской республики (рисунком 2). Материал профиля – S250GD + Z с основным пределом текучести согласно таблице 3.1.b ТКП EN 1993-3-2009 равным  $f_{yk} = 250 \text{ МПа}$  и временным сопротивлением  $f_{tk} = 330 \text{ МПа}$ .

Сбор профилей в узловое соединение выполнено при помощи самонарезающих винтов с цинковым покрытием и полукруглой головкой типа DIN 750K4.8x25.

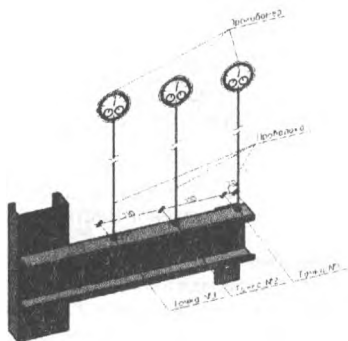


Рисунок 1 – Схема испытания

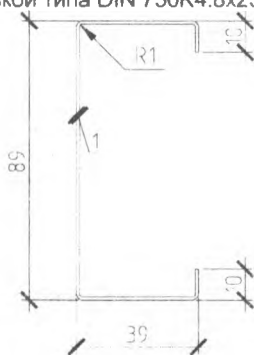


Рисунок 2 – Сечение элементов узла

Разрушение узлов происходило при нагрузке 1.5 кН, за счет смятия металла в районе самонарезающих винтов (рисунок 3).

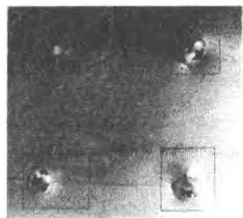


Рисунок 3 – Смятие металла в зоне саморезов

Приняв разрушающую силу за предельную нагрузку, еще воспринимаемую узлом, определим равнодействующие сил приходящиеся на один самонарезающий винт (рисунок 4)

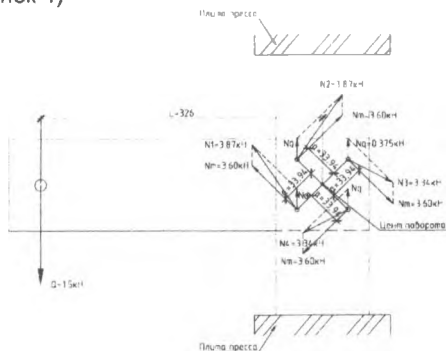


Рисунок 4 – Схема к определению силы приходящейся на один самонарезающий винт

Момент от предельно допустимой нагрузке воспринимаемый узлом:

$$M = Q \cdot L = 1.5 \cdot 0.326 = 0.489 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Сила приходящаяся на самонарезающий винт от поперечной силы (условно распределяем между 4-мя самонарезающими винтами равномерно):

$$N_q = \frac{Q}{4} = \frac{1.5}{4} = 0.375 \text{ кН};$$

Сила приходящаяся на самонарезающий винт от момента:

$$N_m = \frac{M}{4 \cdot a} = \frac{0.489}{4 \cdot 0.034} = 3.60 \text{ кН};$$

Отложив в масштабе силы  $N_q, N_m$  определим равнодействующие (геометрическим сложением векторов), приходящиеся на каждый самонарезающий винт:  $N_1 = 3.87 \text{ кН}, N_2 = 3.87 \text{ кН}, N_3 = 3.34 \text{ кН}, N_4 = 3.34 \text{ кН}.$

Разрушение узла произошло за счет смятия металла. Рассчитаем несущую способность смятия в соединении работающем на сдвиг на самонарезающий винт, в соответствии с ТКП EN 1993-1-3-2009:

$$f_{b,Rd} = \frac{\alpha f_c d t}{\gamma_{M2}}$$

где  $f_{b,Rd}$  - несущая способность смятия;

$\alpha$  - коэффициент, принимаемый при  $t = t_1$ ,  $\alpha = 3.2 \sqrt{\frac{t}{d}}$ , но  $\alpha < 2.1$ ;

$f_{tR} = 330 \text{ МПа}$  - временное сопротивление на растяжение опорного элемента, в котором установлен самонарезающий винт;

$d = 4.8 \text{ мм}$  - номинальный диаметр самонарезающий винт;

$t = 1 \text{ мм}$  - толщина более тонкого из соединяемых элементов;

$\gamma_{M2} = 1.25$  - частный коэффициент безопасности;

$$\alpha = 3.2 \sqrt{\frac{t}{d}} = 3.2 \sqrt{\frac{1}{4.8}} = 1.46 < 2.1;$$

$$f_{b,Rd} = \frac{\alpha f_c d t}{\gamma_{M2}} = \frac{1.46 \cdot 330 \cdot 4.8 \cdot 1}{1.25} \cdot 10^{-3} = 2.31 \text{ кН}.$$

Исходя из несущей способности соединения на смятие, определим предельную нагрузку воспринимаемую узлом. Составляющие  $N$ ,  $N_q$  определим графическим способом (рисунок 5), найденные значения проверим на соблюдение уравнений статического равновесия.

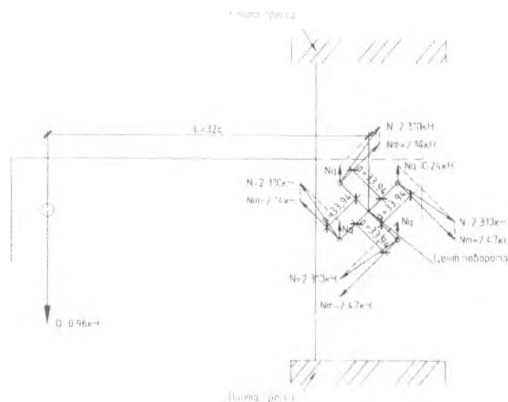


Рисунок 5 – Схема к определению предельной нагрузки на узел

Проверим равновесие узла:

$$\sum M = 0. a \sum N_q - Q L = 0.03394 (2.14 + 2.14 + 2.47 + 2.47) - 0.96 \cdot 0.326 = 0.313 - 0.313 = 0 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\sum Q = 0.4 \cdot N_q - Q = 4 \cdot 0.24 - 0.96 = 0.96 - 0.96 = 0 \text{ кН};$$

Сравним предельно допустимую нагрузку на узел при экспериментальном определении несущей способности и теоретической полученной исходя из несущей способности соединения на смятие по расчетным положениям предложенным в ТКП EN 1993-1-3-2009 имеем:

$$Q_{\text{эксп}} = 1.5кН, Q_{\text{теор}} = 0.96кН;$$
$$\varepsilon = \frac{|0.96 - 1.5|}{0.96} \cdot 100\% = 60\%.$$

Теоретический расчет дает существенный запас в сторону несущей способности.

Для анализа работы узлового соединения была разработана и рассчитана конечно элементная модель. Расчет производился в программном комплексе FEMAP 10.3 с решателем Nastran NX.

В районе самонарезающих винтов видны зоны локальных напряжений (рисунок 6), что соответствует реальному поведению узла, разрушение которого начиналось вследствие смятия металла в зоне саморезов (рисунок 3).

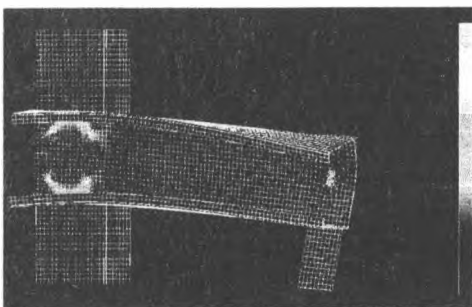


Рисунок 6 – НДС Т-образного узла

#### Выводы:

- изучена работа тонкостенных профилей в узловом Т-образном соединении. Выявлены слабые места данного соединения, согласующиеся с численными исследованиями;

- прочность узла на 60% выше теоретической, определенной в соответствии с расчетными положениями ТКП EN 1993-1-3-2009, что соответствует принципу обеспечения требуемого уровня надежности, но не согласуется с принципом экономии.

- при соединении профилей с помощью самонарезающих винтов образуется отверстие с рваными краями с нарушением защитного слоя цинкового покрытия, что делает данный участок подверженным коррозии. Данный вопрос должен быть отдельно изучен.

#### Список цитированных источников

1 ТКП EN 1993-1-3-2009. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов – Минск: МАИС РБ, 2014. – 119 с.

2 Гарднер Л., Нетеркот Д.А. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 3: Проектирование стальных конструкций EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-8. – Москва: МГСУ, 2012. – 224 с.

## ЗАВИСИМОСТЬ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОТ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УРОВНЯ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Было замечено, что при разработке расписаний, календарных планов продолжительность некоторой последовательности работ не равна сумме продолжительностей этих работ. Это утверждение имеет смысл даже и в том случае, когда последовательность работ выполняется одним исполнителем. В то же время известные методики календарного планирования, в первую очередь сетевое планирование и управление, игнорируют данное обстоятельство. Принято также считать, что события календарного плана (факт окончания одной или нескольких работ и начала последующей работы (работ)), особенно это обстоятельство относится к событиям критического пути, имеют продолжительность равную нулю. Такой подход в конечном итоге приводит к тому, что совпадение действительной продолжительности выполнения комплекса работ и запланированной является случайным совпадением.

Авторами статей [1,2] предлагаются методики, в которых событиям «присваиваются» определенные продолжительности, в зависимости от организационного уровня исполнителей. Но расчеты по данным методикам весьма трудоемки и не дают зависимости общей продолжительности комплекса работ от их количества, организационного уровня исполнителей и от количества событий, соединяющих эти работы. С целью установления этой зависимости и по возможности ее количественных параметров в данной работе проведены расчеты на 18 организационно-технических моделях, представляющих собой линейную цепочку от одной до восемнадцати работ (процессов) и имеющих, соответственно, от двух до девятнадцати событий. Для каждого из трех организационных уровней исполнителей (высокий, средний, низкий). Причем суммарная продолжительность работ (процессов) во всех случаях равна 100 к. е (календарных единиц).

Алгоритм расчетов:

I. Определяем продолжительность работ  $t$  одним из известных способов (нормативным, экспертным, параметрическим);

II. Принимаем организационный уровень исполнителей (высокий, средний, низкий). Определяем продолжительности всех работ как случайную величину в диапазоне от  $0,5t$  до  $1,5t$  для исполнителей, имеющих высокий организационный уровень;  $0,6t+2,6t$  для исполнителей, имеющих средний организационный уровень и  $0,625t+3,375t$  для исполнителей, имеющих низкий организационный уровень [1] с использованием функции СЛЧИС (MicrosoftExcel);

III. Срок наступления событий, в которые входят работы, выходящие из первого события, определяется с использованием функции СЛЧИС в диапазоне  $t-1,5t$ ;

IV. Сроки свершения последующих событий  $T_c$  первоначально определяется как максимальная из сумм сроков наступления предшествующих событий и продолжительностей входящих в данное событие работ определенных в соответствии с п.2;

V. Далее, с использованием функции СЛЧИС в диапазоне  $T^c - 1,5T^c$  генерируем значение срока свершения события.

Результаты выполненных расчетов приведены в таблице1.

Таблица 1 - Итоговые результаты расчетов календарных планов

Количество работ	Количество событий	Продолжительность выполнения работы	Продолжительность выполнения комплекса работ		
			высокий	средний	низкий
1	2	3	4	5	6
1	2	100	59,1	169,7	97,8
2	3	50	101,4	203,2	237,2
3	4	33,3	128,9	274,5	181,7
4	5	25	98,4	280,5	257,9
5	6	20	131,7	201,1	257
6	7	16,7	159,8	277,5	242,5
7	8	14,3	131,8	229,1	418,3
8	9	12,5	116,9	274,8	500,2
9	10	11,1	134,8	187,3	540,1
10	11	10	147,5	199,8	319,6
11	12	9,1	99,5	329	654,2
12	13	8,3	134,4	241,8	589,2
13	14	7,7	204	381,2	459,9
14	15	7,1	351,3	374,2	346,4
15	16	6,7	129,1	165,2	475
16	17	6,3	204,2	359,1	677
17	18	5,9	271,5	407,7	487
18	19	5,6	331,6	560,8	555,4

Видно, что между организационным уровнем исполнителей, количеством событий и общей продолжительностью выполнения комплекса работ существует зависимость. Предполагая, что эта зависимость имеет линейный вид, с использованием метода наименьших квадратов, определяем параметры функций, описывающих эту зависимость.

В результате расчетов были получены следующие зависимости:

$$\begin{aligned} y_b &= 2,78 N + 136,73; \\ y_{cp} &= 3,11 N + 254,67; \\ y_n &= 6,13 N + 347,08. \end{aligned} \quad (1)$$

где  $N$  – количество работ в комплексе (количество работ календарного плана, находящихся на критическом пути);

$y$  – продолжительность выполнения комплекса работ, к.е. (при условии, что исходная суммарная продолжительность работ равна 100 к.е.)

В случае, когда исходная продолжительность выполнения комплекса работ не равна 100 к.е. эти зависимости примут следующий вид:

$$\begin{aligned} T_b &= T/100(2,78 N + 136,73); \\ T_{cp} &= T/100(3,11 N + 254,67); \\ T_n &= T/100(6,13 N + 347,08). \end{aligned} \quad (2)$$

где  $T$  – исходная суммарная продолжительность выполнения комплекса работ, к.е.

Однако, эти зависимости применимы в том случае, если весь комплекс работ выполняется одним исполнителем или исполнителями, имеющими один

организационный уровень, то есть в определенной степени идеализированный вариант. На практике, в реализации проектов, особенно в сфере строительства, участвует большое количество исполнителей с различными организационными уровнями. В связи с этим предполагается следующая интерпретация зависимости (2) для комплекса работ:

$$T_0 = \frac{T_0 \sum_{i=1}^n t_{i0} + T_{cp} \sum_{i=1}^n t_{i,cp} - T_0 \sum_{i=1}^n t_{i0}}{\sum_{i=1}^n t_{i0} + \sum_{i=1}^n t_{i,cp} - \sum_{i=1}^n t_{i0}}, \quad (3)$$

где  $\sum_{i=1}^n t_{i0}$  – сумма математических ожиданий (дискретное значение продолжительности процесса, работы, процедуры, определенное одним из известных способов: нормативным, экспертным, параметрическим) продолжительностей процессов из всего комплекса работ, выполняемых исполнителями (исполнителем) высокого организационного уровня;

$\sum_{i=1}^n t_{i,cp}$  – тоже, выполняемых исполнителями среднего организационного уровня;

$\sum_{i=1}^n t_{i0}$  – тоже, выполняемых исполнителями низкого организационного уровня.

Подставив выражения (2) в зависимость (3) окончательно получим:

$$T_0 = \left| \frac{(2,78 \cdot N - 136,73) \cdot \sum_{i=1}^n t_{i0} + (3,11 \cdot N + 254,67) \cdot \sum_{i=1}^n t_{i,cp} -}{-(6,13 \cdot N - 347,08) \cdot \sum_{i=1}^n t_{i0}} \right| / 100 \quad (4)$$

Из всего изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Продолжительность выполнения комплекса работ (строительства) зависит от:

а. Организационного уровня исполнителей;

б. Количества работ календарного плана, принадлежащих критическому пути.

2. Продолжительность выполнения комплекса работ, выполняемых последовательно, не равна сумме продолжительностей работ

3. В календарном планировании вывод, изложенный в п.2, рекомендуется учитывать, используя зависимости:

$$T_0 = T/100(2,78 \cdot N + 136,73),$$

$$T_{cp} = T/100(3,11 \cdot N + 254,67),$$

$$T_n = T/100(6,13 \cdot N + 347,08).$$

4. В случае участия в возведении объекта исполнителей различных организационных уровней, продолжительность выполнения комплекса работ рекомендуется определять, используя зависимость:

$$T_0 = \left| \frac{(2,78 \cdot N - 136,73) \cdot \sum_{i=1}^n t_{i0} + (3,11 \cdot N + 254,67) \cdot \sum_{i=1}^n t_{i,cp} -}{-(6,13 \cdot N - 347,08) \cdot \sum_{i=1}^n t_{i0}} \right| / 100.$$

#### Список цитированных источников

1. Калугин Ю.Б. Расчет календарных планов работ с вероятностными временными параметрами. //Ю.Б. Калугин// Изв. Вузов. Строительство – 2011-№10-с.51-58;

2. Кузьмич П.М., Махнист Л.П., Михайлова Н.В. Расчет календарных планов с вероятностными временными параметрами работы //П.М. Кузьмич, Л.П. Махнист, Н.В. Михайлова // Вестник БрГТУ. – 2013. - №1(79) строительство и архитектура. – с. 139-142.



УДК 378.14(07)

**Мирончук В.С., Павлюкович Д.А.**

**Научный руководитель: зав. кафедрой НГиИГ Винник Н.С.**

## **МЕТОДЫ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КРЫШАМ ЗДАНИЙ**

Цель работы - наглядное представление использования различных методов начертательной геометрии в конструкциях крыш зданий

Первой рукотворной формой человеческого жилья был шатер. Он имел статичный и простой для возведения каркас. Атмосферные осадки могли легко стекать вниз, а помещения использовались максимально. Не хватало только источника света - окна в поверхности крыши.

В дальнейшем, когда стены жилища начинают строить вертикальными, крыша становится самостоятельным конструктивным элементом.

Жители больших городов не видят крыш зданий. Они где-то наверху, там, где обитает романтик Карлсон (рис. 1).



*Рисунок 1*

В отличие от мегаполисов среди жилой застройки загородных поселков и небольших городов в значительной степени формируют крыши частных домов. Застройщики не связаны строгими правилами и вольны воплощать свое представление об идеальном жилище в самых разнообразных формах. Ограничивает фантазию главным образом бюджет стройки или реконструкции. Красивые крыши домов придают архитектуре человеческий масштаб, создают дружелюбную по отношению к жителям среду. Попробуем разобраться, какие бывают варианты крыш домов, и как их привлекательность связана с изученным нами предметом «Начертательная геометрия».

Ведь что бросается в первую очередь в глаза при взгляде на частный дом, это фасад и крыша. Даже, пожалуй, в обратном порядке. В новых коттеджных поселках, какие только варианты крыш не встретишь.

Очень часто встречаются элементы крыш в форме конуса, пересекающегося с призмой.

Помимо конструкций крыш в форме конуса, очень часто встречаются разнообразные формы комбинированных поверхностей вращения, пересекающихся с гранью плоскости под различным углом (рис.2):

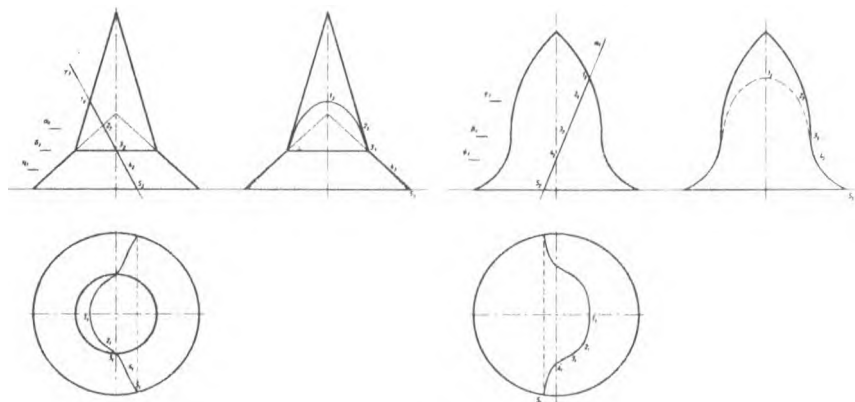


Рисунок 2

Так как грань (скат крыши) – это плоскость, занимающая частное положение [1], одна проекция линии пересечения уже известна из условия. Способом вспомогательных секущих плоскостей находим недостающие проекции линии сечения. Вспомогательные плоскости вводятся параллельно основанию поверхности вращения, таким образом, получаются окружности, а на них промежуточные точки.

Загородный дом в наше время становится для многих своих хозяев постоянным местом проживания. Люди стремятся вырваться из душного и суетного города на природу. Большинство может себе позволить это удовольствие только в летний период. Однако уже многие имеют возможность проживать за городом круглый год, поэтому их подход к дизайну загородного дома стал более основательным. Ведь владельцу хочется, чтобы его жилище выглядело не как «дачный домик» [2] советского времени, а как фамильный особняк, в котором можно не только принять большое число гостей, но и удивить всех своим эстетическим вкусом, определившим внешний дизайн строения. Практическое применение данный вид задач находит в конструкциях крыш, как правило, загородных частных домов (рис.3).

При проектировании таких загородных домов (рис. 3) архитектор использовал в конструкциях башенный элемент. Необходимо отметить, что венчает его пирамидально-конусная крыша. Это придает дому загадочный вид, выражая желание его хозяина более полно и отразить свои вкусовые пристрастия во внешнем дизайне дома.



Рисунок 3

Также часто в конструкциях крыш встречаются пересечения призматических поверхностей. Многогранники пересекаются по замкнутым пространственным ломаным линиям, которые могут быть найдены следующим образом [3]:

**Способ ребер.** Находятся точки пересечения ребер одного многогранника с гранями другого.

**Способ граней.** Определяются отрезки прямых, по которым грани одного многогранника пересекаются с гранями другого.

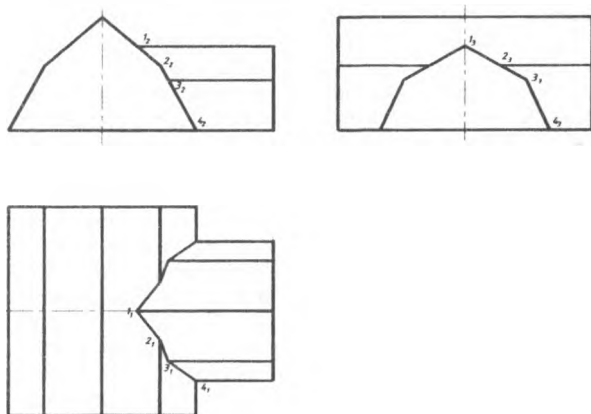


Рисунок 4

В результате пересечения заданных многогранников (рис.4) получается ломаная пространственная линии. Она соединяет соответствующие точки пересечения ребер одного многогранника с гранями другого. Так как одна из

призм занимает проецирующее положение, искомые точки сечения мы уже имеем на одной из проекций. Задача сводится к построению точек на ребрах двух оставшихся проекций. Видимыми считаются те звенья линии пересечения, которые лежат на видимых гранях обоих многогранников.

Точное повторение задачи на рисунке 5 показано на рис.4. Чем проще форма крыши, тем легче ее возводить



Рисунок 5

Нынешние домовладельцы стремятся сделать дом привлекательным и интересным с архитектурной, дизайнерской, эстетической точки зрения. Крыша играет в этом деле далеко не последнюю роль. Более того, по мнению многих экспертов, именно оптимальная конфигурация крыши в наибольшей степени влияет на внешний вид современного коттеджа – она должна гармонично завершать сооружение, придавая ему целостность. Необходимо, чтобы ее контуры и окраска максимально эффектно вписывались в окружающий ландшафт. Крыши часто называют вторым фасадом дома.

Очень давно, еще до начала нашей эры, люди строили прекрасные здания с весьма правильными пропорциями. Пропорции в архитектуре — это как бы ее внутренняя красота. Она невидима непосредственно, но всегда ощутима, подобно красоте духовной. Не менее важна роль геометрии в архитектуре. Только неотступно следуя законам геометрии, архитекторы древности могли создавать свои шедевры. Прошли века, но роль геометрии не изменилась. Она по-прежнему остается «грамматикой архитектора». Окунувшись в мир архитектуры, изучив некоторые ее формы, конструкции, композиции, рассмотрев множество ее объектов, мы убедились в том, что геометрия играет важную, если не главную роль в архитектуре крыш. Геометрия — это замечательный инструмент, который позволяет устанавливать порядок и гармонию в нашей жизни. Действительно, фигуры, которые мы изучаем в геометрии, являются теми математическими моделями, на базе которых строятся архитектурные формы крыш. Мы считаем, что наша работа соответствует целям и задачам, заявленным ранее. Что нам удалось в работе? Во-первых, мы познакомились с огромным количеством материалов по архитектуре крыш, размещенных в сети Интернет. Во-вторых, проделали кропотливую работу и собрали рабочий материал для исследования взаимосвязи архитектуры крыш и геометрии. В-третьих, мы собрали много интересного материала об архитектурных конструкциях крыш городов, который позволил нам прийти к определенным выводам.

дам относительно архитектуры крыш: 1) при строительстве новых зданий все чаще используются более сложные формы крыш; 2) красота зданий заключается как в их симметрии, так и в асимметрии; 3) применение различных геометрических форм в архитектурных сооружениях дает возможность изменить традиционную архитектуру городского строительства; 4) застройка городов и поселков зданиями с крышами, имеющими современные конструкции, делает их более привлекательными для жителей и гостей.

#### Список цитированных источников

1. Гордон В.О., Семенцов-Огиевский М.А. Курс начертательной геометрии. – М.: Высшая школа, 1998. – 272 с.
2. Орловский Б.Я. Архитектура: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1984.
3. Гильберт. Д. Наглядная геометрия. – М.: Наука, 1981. – 344с.

УДК 697.13:692.23

*Мирончук В.С., Юркевич И.В.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Шалобыта Т.П.*

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ НАРУЖНЫЕ СТЕНЫ ЖИЛЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

В настоящее время строительство жилых зданий, в том числе индивидуальных, существенно отличается от того, что строили в конце 20 века. Современные требования к энергосбережению, архитектурной выразительности, долговечности, комфортности жилья требуют новых подходов к разработке и выбору строительных систем, технологий возведения и монтажа конструкций и инженерного обеспечения жилых домов.

Требования к повышению тепловой защиты зданий и сооружений – основных потребителей энергии, являются важным объектом государственного регулирования в большинстве стран мира. Они рассматриваются также с точки зрения охраны окружающей среды, рационального использования невозобновляемых природных ресурсов и уменьшения влияния "парникового" эффекта и сокращения выделений двуоксида углерода и других вредных веществ в атмосферу. Цены на энергоносители растут с каждым годом, а невозобновляемые источники энергоресурсов с каждым днем исчерпываются. Более 50% мировых энергетических ресурсов расходуется на энергоснабжение зданий и сооружений. Одной из основных задач, которые сформулированы в концепции развития строительного комплекса Республики Беларусь на 2011–2020 гг., является строительство энергоэффективных жилых домов. Удельное потребление тепловой энергии на отопление таких зданий не должно превышать 60 кВт·ч на 1 м<sup>2</sup> в год и в перспективе до 2020 г. до 30-40 кВт·ч на 1 м<sup>2</sup> в год. Именно поэтому для эффективного использования энергетических ресурсов прежде чем начать строить или проектировать здание, необходимо решить проблему максимального сбережения в нем тепла, которое уходит через пол, стены, окна, покрытие и крышу. В структуре теплового баланса жилого здания теплопотери в холодный период года через стены составляют 25-30% от общего их количества. Анализ, расчеты и проектные проработки показали, что наружные стены сплошной (однородной) конструкции, в том числе легкобетонные, кирпичные, деревянные и ячеистобетонные не удовлетворяют теплотехническим и экономическим критериям. Это обусловило разработку и при-

менение новых конструктивных решений ограждающих конструкций. На сегодняшний день применяется несколько основных конструктивных решений теплоэффективных стен, которые достаточно хорошо зарекомендовали себя.

1. Многослойная стена с использованием штучных стеновых материалов. Средний слой выполняется из эффективных утеплителей (минераловатных, стекловолоконистых, пенополистирола). Внутренний и наружный слой связываются гибкими связями (стеклопластиковыми, базальтопластиковыми, стальной проволокой). Это достаточно простая и технологичная система, широко применяемая в строительстве. Основными недостатками, которые выявляются при эксплуатации являются: температурно-усадочное растрескивание, подтеки в зоне незащищенных от коррозии металлических опорных столиков.

2. Фасадная теплоизоляция с последующим оштукатуриванием по сетке. Основное применение такой системы – это санация жилых домов старых массовых серий с кирпичными и панельными стенами. Достоинством такой системы является отсутствие значительных дополнительных нагрузок от фасадной теплоизоляции. Системы утепления с оштукатуриванием фасадов предусматривают клеевое или механическое закрепление утеплителя с помощью анкеров, дюбелей и каркасов к существующей стене с последующим покрытием его защитными слоями. Помимо общего требования к надежному закреплению слоев к существующей стене, в данной системе утепления обязательным по условиям годового баланса влагонакопления является требование к паропроницаемости накрывочных штукатурных слоев. Определяющим критерием в долговечности таких систем является стойкость фасадной гидроизоляционной штукатурки.

3. Трехслойная стена по системе «вентилируемый фасад» позволяет проводить работы круглогодично, преимуществом является возможность быстро устранять дефекты. Недостатком системы кроме высокой стоимости является низкий коэффициент теплотехнической однородности.

4. Стена с использованием блоков из ячеистого бетона. В Беларуси стеновое ограждение каркасных зданий, как правило, выполняется в виде одно- или двухслойной кладки. Кладка однослойных стен обычно ведется из ячеистобетонных (газосиликатных) блоков на тонких растворных швах с последующими защитно-декоративной облицовкой штукатурным раствором и окраской. Значительно реже возводятся здания, стеновое ограждение которых выполняется двухслойным – из ячеистобетонных блоков с защитно-декоративной облицовкой из кирпича.

Газосиликатные стеновые блоки гигроскопичны, соответственно может появиться грибок, плесень. Поэтому готовые конструкции нуждаются в наружной отделке (оштукатуривание, облицовочный кирпич, вагонка или блок-хаус, навесные и вентилируемые фасады). Кроме того, высокий по сравнению с аналогичными стройматериалами коэффициент паропроницаемости (в 4 раза выше, чем у блоков из тяжелого бетона), накладывает определенные ограничения на утепление и отделку конструкций из газобетона. Нельзя использовать экструдированный пенополистирол, другие теплоизоляторы и стройматериалы с почти нулевым показателем паропроницаемости. Как вариант для возведения стен могут использоваться керамзитобетонные камни и поризованные керамические блоки.

5. Стена в несъемной опалубке.

Это относительно новый и пока незначительно распространенный в Беларуси вид энергоэффективной стены. Несъемная опалубка – блоки или панели из различных материалов, которые монтируются в единую опалубочную

конструкцию - форму для укладки монолитного армированного бетона. Такая конструкция ускоряет и упрощает строительство за счёт объединения нескольких операций в одном технологическом цикле (несущая стена с нужным сопротивлением теплопередаче возводится за один технологический цикл). Несъёмная опалубка после схватывания в ней бетона становится функциональной частью конструкции готовой стены. Такая конструкция теплоэффективной стены впервые появилась в середине шестидесятых в Австрии. В связи с развитием строительства и желанием потребителя улучшить условия жизни (меньше затраты на постройку и отделку дома, быстрые сроки, экологичность) – несъёмная опалубка, которая не требует дополнительной теплоизоляции, получила достаточно широкое распространение за рубежом, особенно в малоэтажном строительстве.

Выделяют следующие виды несъёмной опалубки:

- плиты с древесным наполнителем;
- пенополистирольная;
- бетонная (легкобетонная) опалубка.

К первому виду относят цементно-стружечные плиты и аналогичные им материалы DURISOL, Green Board, **VELOX**. Цементно-стружечные плиты (ЦСП; англ. cement bonded particle board) — композиционный листовый строительный материал, изготавливаемый из тонкой древесной стружки, портландцемента и химических добавок, снижающих вредное воздействие экстрактов древесины на цемент. Материал DURISOL на 80-90% состоит из щепы хвойных деревьев, обработанной минеральными добавками и скрепленной портландцементом.

Плиты Green Board – многофункциональный, экологически чистый и безопасный строительный материал из древесной стружки 60%, портландцемента и добавок. **Строительная система VELOX** – комплексная технология быстрого возведения зданий методом монолитного строительства в несъёмной опалубке из щелоцементных плит. Основные показатели свойств опалубки с древесным наполнением приведены в таблице 1. Проанализировав технические свойства различных видов такой опалубки, представленной на строительном рынке Беларуси, установили, что все виды опалубки с древесным наполнителем обладают хорошими тепло- и звукоизоляционными характеристиками. Это экологичные, прочные и долговечные материалы с высокой степенью пожарной безопасности, не подверженные гниению, поражению грибками и плесенью, морозоустойчивые, позволяющие возводить монолитные здания, удовлетворяющий всем критериям комфортного и безопасного жилья.

Таблица 1 – Основные технические показатели опалубки с древесным наполнителем

Материал	Состав, %	Ср. плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на изгиб, МПа	Теплопроводность, Вт/(мК)	Размеры, мм	Высота возводимого здания, эт
ЦСП	ПЦ -58 Древ. стружка - 30 Жидкое стекло - 1.5 Вода -9 Сульфат алюминия 1.5	1100-1400	7-12	0.26	Толщина 10, 16, 20, 24, 36 Ширина 1250 Длина 2700, 3200	До 3

Продолжение таблицы 1

Материал	Состав, %	Ср. плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на изгиб, МПа	Теплопроводность, Вт/(мК)	Размеры, мм	Высота возводимого здания, эт
Green Board (GB 3)	Древесная шерсть -60 ПЦ -39.7 Жидкое стекло 0.3	1000-1400	12	0.17	Толщина 10, 12, 18, 22, 25 Ширина 600 Длина 2800, 3000	До 3
DURISOL	Щепы хвойных пород деревьев -90 ПЦ-9.8 Минералы- 0.2 вода	600	0.5	0.15	Толщина 150, 220, 300, 375 Ширина 250 Длина 500	До 12
VELOX	Древесная щепы -90 ПЦ с доб. сульфата алюминия -9 жидкое стекло -1	650-800	1.3-2.2	0.11-0.15	Толщина 25, 35, 50, 70, 100 Ширина 500, 550 Длина 2000	До 20

При использовании пенополистирольной опалубки теплоизолирующие свойства стенки повышаются при меньшей толщине монолитного слоя (таблица 2), но требуется защита от прямых солнечных лучей и поражения грызунами. Кроме того при горении пенополистирольная опалубка выделяет токсичные вещества.

Таблица 2 – Основные технические показатели пенополистирольной опалубки

Система	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м*К)	добавки против грызунов	добавки против возгорания
PLASTBAU-3	15-50	0,038	+	+
ПСБ-С	15-50	0,038	+	+

Опалубка «ПЛАСТБАУ-3» изготавливается из пенополистирола, арматурных каркасов и сетки на оборудовании фирмы PLASTEDIL (Швейцария). «ПЛАСТБАУ-3» обладает хорошими теплоизоляционными свойствами (таблица 2), легкая и простая в обработке, быстро монтируется, не требует для своей установки тяжелых строительных механизмов и малотрудоемкие при сборке. Пенополистирол ПСБ-С - это листовый утеплитель белого цвета. Представляет собой спелкшиес под воздействием высокой температуры гранулы 2-5 мм. Достоинства ПСБ-С: низкие водопоглощение, паропроницаемость и теплопроводность, экономичность. Недостатком стен в несъемной пенополистирольной опалубке является не всегда благоприятный температурно влажностный режим эксплуатации в зимний период, связанный с возможностью образования конденсата на границе с внутренним слоем пенополистирола.

К третьей группе несъемной опалубки относится Eurobau, где в качестве материала используется бетон и керамзитобетон. 80% конструкций изготавливается на производстве, на площадке остается только собрать элементы как в чертежах. Такая опалубка эффективна для постройки цокольных этажей,



так как обладает хорошей гидроизоляцией. Монтажные работы ведутся в любое время года и не зависят от погоды. Поверхность готова к финишной отделке.

Проанализировав все виды несъемной опалубки, можно выделить основные достоинства таких систем: сокращение на 20-30% трудоемкости и продолжительности возведения стен, что позволяет значительно снизить себестоимость строительно-монтажных работ. Это делает такие системы привлекательными для строительства экономичных энергоэффективных зданий, в особенности малоэтажного жилья. При этом надо отметить и следующие недостатки: малая изученность таких конструкций, существует проблема обеспечения совместной работы различных несущих слоев, в т.ч за счет недостаточной адгезии контактной поверхности, и др.

В современной практике на основе опыта и теплофизических исследований было установлено, что в многослойных конструкциях не учитывается в достаточной мере факт значительного снижения эксплуатационных характеристик стен выполненных из композитных материалов. Материалы имеют различные физико-механические свойства, начиная с различных коэффициентов расширения и усадки, различия в прочности на сжатие и растяжение, разные характеристики износа в ходе эксплуатации каждого из композитов в отдельности, вплоть до разных коэффициентов воздухо- и паропроницаемости.

Поэтому, несмотря на большое разнообразие современных типов теплоэффективных стен жилых зданий, проблему рациональной их конструкции и технологии возведения на сегодняшний день нельзя считать окончательно решенной.

#### Список цитированных источников

1. Зарубина Л.П. теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы и технологии 2-е изд. – Спб.: БХВ-Петербург, 2013. –416 с.
2. <http://www.tep-doma.ru/>
3. <http://www.texnoblok.com/>

УДК 621.92.001.891.57:744

*Павлючик А.В., Онищук С.В.*

*Научный руководитель: старший преподаватель Омесь Д.В.*

## КИНЕТИЧЕСКАЯ СКУЛЬПТУРА В КОМПАС 3D

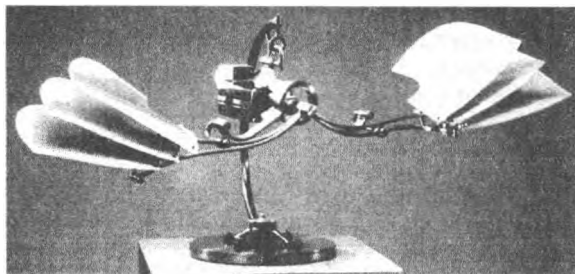
**Кинетическое искусство** (от греческого *kinetikos* – движение, приводящий в движение) – направление в современном искусстве, обыгрывающее эффекты реального движения всего произведения или отдельных его составляющих [1]. Такой вид искусства основывается на представлении о том, что с помощью света и движения можно создать произведение искусства. Объекты представляют собой движущиеся установки, производящие при перемещении интересные сочетания света и тени, иногда звучащие. Это тщательно сконструированные устройства из металла, стекла или других материалов. В кинетическом искусстве движение вводится по-разному: некоторые произведения динамически преобразуются самим зрителем, другие – колебаниями воздушной среды, а третьи приводятся в движение мотором или электромагнитными силами.

Чтобы создать такое произведение искусства не всегда достаточно навыков художника. Часто, необходимо иметь представление о механизмах, передающих и преобразующих движение; о материалах и методах их обработки для создания нужных деталей; о методах разработки и проектирования с использованием современных систем трехмерного моделирования. И художник уже становится настоящим инженером, обладающим обширными знаниями и умениями

Мы, студенты второго курса машиностроительного факультета, решили испытать свои способности на пути подготовки к профессиональной деятельности инженеров. При изучении инженерной графики мы получили навыки работы в среде КОМПАС 3D – по заданиям строили твердотельные модели, создавали на их основе чертежи, выполняли сборки и сборочные чертежи. Но это так скучно и не допускает никакого творчества. А ведь будущий инженер должен быть творческой личностью. Поэтому решили пойти дальше - создать что-то свое в трехмерной среде и заставить это двигаться. Поскольку мы механики и технари, то обратили внимание на кинетическое искусство, механизмов в котором превеликое множество.

Среди современных деятелей кинетизма можно отметить Тео Янсена, Энтони Хоу, Боба Поттса, Дэвида Роя, Рубина Мэрголона [2]. Эти скульпторы представляют кардинально отличающиеся по конструкции, материалам и принципу действия произведения кинетического искусства.

**Боб Поттс и его «Железная птица».** Работы Боба Поттса удивительно минималистичны. Он использует минимум средств, без ненужного украшения и вычурности. Здесь форма подчинена функции, и каждая деталь скульптуры необходима для ее движения. Просмотрев работы Боба Поттса, решили построить 3D-модель механизма, имитирующего движение, напоминающее полет птицы (рис. 1).



*Рисунок 1 – «Железная птица»*

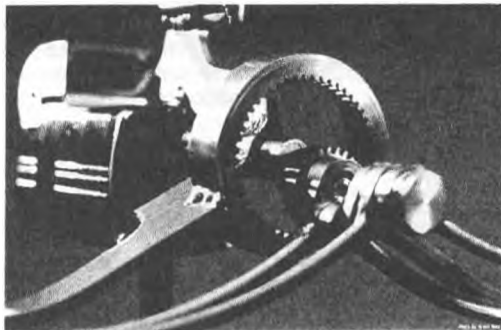
Эта «птица» состоит из простых механизмов, таких как планетарный механизм и рычажная система. Простое вращательное движение вала электродвигателя преобразуется в сложное движение крыльев.

Большинство скульпторов используют компьютерные системы твердотельного моделирования такие, как Cinema 4D, SolidWorks, Inventor и другие менее популярные, но более простые. Нами была выбрана графическая среда КОМПАС 3D, поскольку используется в курсе инженерной графики и будет использоваться в дальнейшем при выполнении курсовых проектов и после окончания университета. КОМПАС 3D позволяет создавать твердотельные модели любой сложности и размеров, объединять их в сборочные узлы и изделия, а с помощью встроенной библиотеки анимации моделировать движение

ние звеньев, изменение их оптических свойств (прозрачность) по заданным сценариям и сохранять результат в видеоролик. Эти возможности можно использовать для презентации проектов, что мы и сделали.

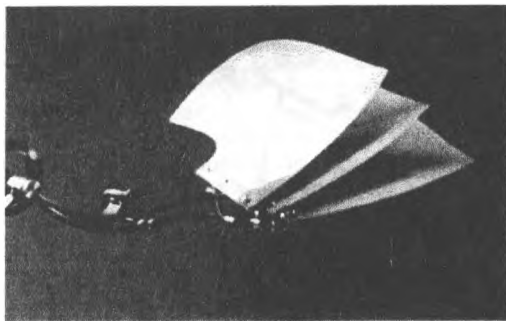
Работа оказалась непростой, поскольку чертежи отсутствовали, и пришлось ориентироваться на то, что было представлено в видеоролике. Строение механизмов и сопряжения звеньев пришлось проектировать на познаниях в дисциплине «Теория машин и механизмов». Форма и размеры деталей подбирались по подобию.

В движение скульптура приводится с помощью небольшого электродвигателя, размещенного на подставке (рис. 2). Далее следует планетарная передача, состоящая из водила, сателлита и опорного неподвижного колеса. На оси сателлита закреплен коленвал, несущий оси стержней крыльев. Числа зубьев неподвижного колеса и сателлита имеют соотношение 2:1, что обеспечивает поступательное движение в пространстве одной из осей коленвала.



*Рисунок 2 – Механизмы и звенья*

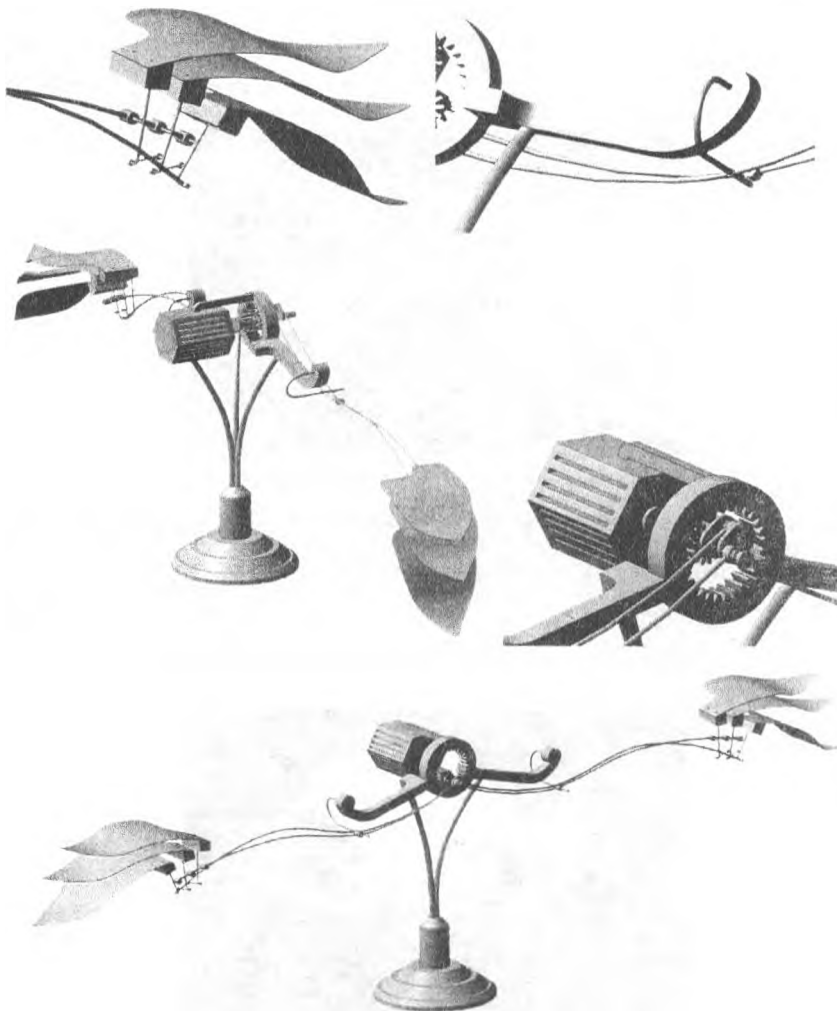
Стержни крыльев вместе с шарнирно сочлененными другими звеньями образуют плоский рычажный механизм, состоящий из коромысел и шатунов (рис. 3). Коромысло совершает возвратно-вращательное движение, а шатуны – сложное. Все четыре главных стержня формирующих «скелет» крыльев, имеют различную конфигурацию, для того чтобы обеспечивать синхронные взмахи крыльев. Система рычагов на периферии стержней задает движение отличное движение каждой лопасти крыла, т.е. взмах разной амплитуды. В результате движение крыльев пытается имитировать полет птицы.



*Рисунок 3 – Стержни крыльев*

**Моделирование в КОМПАС 3D.** При создании 3D-деталей в графическом редакторе КОМПАС-3D использовались операции вращения, выдавливания, кинематическая операция. При создании сборки использовалось сопряжение компонентов: совпадение, соосность, расположение элементов на заданном расстоянии. Также использовалась библиотека анимации для придания движения звеньям в трехмерной среде. «Железная птица» было смоделирована с полной детализацией конструкции.

Результат можно увидеть на рис. 4.



*Рисунок 4 – 3D модель «железной птицы»*

Результатом проделанной работы стала трехмерная модель «железной птицы» построенная в среде КОМПАС 3D. Полностью воссозданы все механизмы этой кинетической скульптуры, обеспечивающие требуемое движение звеньев, чтобы имитировать полет птицы. Для готовой твердотельной модели создан сценарий анимации, результат отработки которого сохранен в видеоролик.

При выполнении поставленных задач значительно расширены и углублены знания в работе с трехмерными моделями, исследованы возможности, предоставляемые современными системами автоматизированного проектирования, КОМПАС 3D в частности. Полученные навыки можно использовать для подготовки презентаций проектируемых узлов и изделий машиностроения при обучении в ВУЗе, а также после его окончания. Ведь кроме визуализации созданного проекта можно производить расчет геометрических и физических свойств модели проводить различного рода расчеты – силовые, тепловые, термоупругие.

Выпускники инженерных специальностей ВУЗов должны обладать расширенными знаниями и навыками работы в современных системах компьютерного моделирования, чтобы быть востребованными на рынке труда, чтобы развивать потенциал промышленного производства. Ведь сейчас на предприятиях проектирование осуществляется с использованием компьютера и специализированного программного обеспечения.

#### **Список цитированных источников**

1. [www.ru.wikipedia.org/wiki/Кинетическое искусство](http://www.ru.wikipedia.org/wiki/Кинетическое_искусство)
2. [www.youtube.com](http://www.youtube.com)
3. Кидрук М.И. Компас-3D на 100% (+CD). – СПб.: Издательский дом «Питер», 2009. – 560 с.

УДК 72.012(1-87)

*Практика А.О.*

*Научный руководитель: Мартысюк Н.А.*

## **ЭКОАРХИТЕКТУРА В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ: ОПЫТ СТРАН ЗАРУБЕЖЬЯ**

Целью данной работы является рассмотрение уже существующих экоархитектурных проектов и изучение их особенностей для популяризации среди общества.

В наше время особую актуальность приобрели инновационные проекты, направленные на решение экологических, энергетических и многих других проблем жизни в городе. Отчасти это можно связать со стремлением человека к гармонии с природой, что наблюдалось на протяжении прошлых веков, однако есть еще куда более веские причины, прежде всего, как говорилась выше, экологические. Ни для кого не секрет, что жизнедеятельность человека на современном этапе разрушает то, что развивалось в течение нескольких веков, и что единственным выходом из сложившейся ситуации является создание проектов, где экологическая обстановка будет максимально приближенной к природной. В погоне за передовыми технологиями общество так мало уделяет внимания тому, что не только современно, но и не наносит вред окружающей среде. Возможно, использование в современной архитектуре экологических методов, покажется трудновыполнимым и отчасти фантастическим, но уже сейчас существует много реализованных проектов, в которых они были удачно воплощены.

К экологическим методам относятся:

Технологические методы. Они предусматривают установку нового инженерного оборудования, использование «чистых» технологий

Технические методы. Такие методы подразумевают использование экологически чистых материалов.

Архитектурно-планировочные методы. Вм свою очередь, архитектурно-планировочные методы подразделяются на:

- *градостроительные* (вынос вспомогательных производств, не влияющих на выпуск основного вида продукции, за пределы города, изменение инфраструктуры, изменение размеров, ориентации и конфигурации зданий (корпусов));

- *ландшафтные* (озеленение, изменение рельефа, изменение качества ландшафта),

- *эстетические* (придание эстетического вида объекту)

Как наиболее яркие примеры использования приемов эоархитектуры были выявлены следующие объекты: Bank of America Tower, Masdar sity и футуристический проект Венсана Кальбо – «LILYPAD»

Bank of America Tower, расположен в городе Нью-Йорк, США. Небоскреб построен по большей части из переработанных материалов, которые в дальнейшем возможно подвергнуть утилизации. Большая площадь остекления фасада здания позволяет уменьшить затраты на электроэнергию. Для изготовления окон использовались стеклопакеты с особым стеклом, которое частично поглощает солнечное излучение, обеспечивает максимальное естественное освещение и позволяет сократить потери тепла. Также здание банка имеет установку, способную вырабатывать электричество, обеспечивая часть потребностей небоскрёба в электроэнергии. На крыше здания установлены автоматические сборщики дождевой воды. Собранная вода будет смешиваться с уже использованной и затем очищаться. Еще одной экологической особенностью небоскрёба является фильтрация воздуха: воздух очищается не только на входе, но и на выходе из здания.



Рисунок 1 - Bank of America Tower, Нью-Йорк, США

Проанализировав собранные данные по этому объекту, можно сделать заключение, что при реализации данного проекта были использованы технологические методы такие как: Использование нетрадиционных источников энергии, рациональное использование ресурсов за счет переработки, повторного использования и утилизации.

В настоящее время также осуществляется несколько грандиозных эко-проектов. Наиболее впечатляющий проект осуществляется в Объединенных Арабских Эмиратах, недалеко от Абу-Даби. Строительство этого объекта началось в 2008 году, но из-за финансового кризиса было приостановлено и возобновилось в 2015 году.

MASDAR CITY. Позиционируется как первый в мире город с "положительной энергией". Комплекс зданий будет объединен общей инфраструктурой и накрыт сверху общей сеткой из стекла и жалюзи, которая будет регулировать проникновение солнечного света, ажурные конструкции, закрывающие на уровне крыш почти все улицы города, позволят даже в жаркий полдень сохранять прохладу, что приведет к снижению температуры в городе, а это актуально для климата ОАЭ. Так же в эту структуру встроены солнечные батареи. В случае если солнечной энергии будет недостаточно – предусмотрены еще ветряные турбины которые так же будут вырабатывать электроэнергию и вентилировать здания. За пределами города будут установлены ветрогенераторы. Внутри комплекса будет расположено множество озелененных открытых пространств, что должно снизить выбросы углекислого газа и обеспечить свежим кислородом. Еще один акцент в развитии экогорода – бережное использование воды. Завод по опреснению воды, работающий также на солнечных батареях, будет служить источником водоснабжения города. Около 80 % воды, используемой для водоснабжения Masdar, будет перерабатываться и сточные воды будут повторно использоваться там, где это возможно. Биологические отходы будут использоваться для создания богатых питательными веществами почвы и удобрений, и некоторые из них могут также быть использованы для сжигания в качестве дополнительного источника энергии. Улицы города предназначены для пешеходов и велосипедистов, а транспортное сообщение будет представлено электромобили и монорельсовой системой скоростных поездов.



*Рисунок 2 - Masdar city, Объединенные Арабские Эмираты*

Проанализировав этот проект, можно выделить технологические, технические и архитектурно-планировочные методы такие как: установка нового инженерного оборудования, вынос вспомогательных производств за пределы города, изменение инфраструктуры и конфигурации зданий, озеленение, рациональное использование ресурсов, использование нетрадиционных источников энергии.

Наиболее интересны с точки зрения использования эко-приемов в архитектуре футуристические проекты, не осуществимые в настоящее время в реальности из-за ряда своих особенностей, это попытка предвосхитить облик архитектуры будущего. Венсан Кальбо – один из крупнейших современных архитекторов, чьи интересы связаны с футуристической архитектурой. Проблема повышения мирового океана натолкнула этого архитектора на футуристический проект «LILYPAD»

Конструкция этих необычных сооружений основана на образе листьев гигантской тропической кувшинки. Отсюда и название проекта – «LILYPAD, плавучий экополис для экологических беженцев». Когда под водой окажутся населенные людьми районы, их жители смогут перебраться в такие автономные плавучие города, где можно будет не только жить и работать, но и выращивать сельскохозяйственные культуры и вырабатывать энергию – причем даже больше, чем потребляет один такой «лист водяной лилии». Он рассчитан на 50 000 жителей, а также на различных представителей флоры и фауны. В качестве основного материала для реализации данного проекта планируется использовать пластиковое волокно, покрытое слоем двуокиси титана, обладающей способностью впитывать частицы загрязнения из атмосферы под воздействием солнечных лучей. Такой «город будущего» обладает нулевым уровнем выброса углерода в окружающую среду, а также использует для выработки энергии ее все возможные возобновляемые источники: солнечные батареи, ветряные турбины, приливные ГЭС, биомассу и т.д.



*Рисунок 3 - Lilypad, архитектор Венсан Кальбо*

На примере вышеописанного объекта можно сделать заключение о использовании технологических, технических и архитектурно-планировочных методов таких как: установка нового инженерного оборудования, изменение инфраструктуры и конфигурации зданий, озеленение, рациональное использование ресурсов, использование нетрадиционных источников энергии, использование новых экологических материалов, позволяющих очищать загрязнения в атмосфере



Среди проектов Кальбо, есть также летающие на биоводороде корабли, башни фермы, плавающие сады, очищающие воду, и многие другие проекты.

Вывод: На примере вышеперечисленных объектов можно наблюдать, что с течением времени добавляются все новые приемы поддерживающие идею эко-архитектуры, которая является ступенькой к улучшению нынешнего состояния экологии на нашей планете.

#### Список цитированных источников

1. Казанцев П.А. Основы экологической архитектуры и дизайна. Экспериментальный лекционный и практический курс для студентов специальностей "Архитектура" и "Дизайн архитектурной среды" Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. - 118 с.

3. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]/- Режим доступа: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4754](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4754) 20.03.2015

4. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]/ - Режим доступа: [http://www.cawater-info.net/all\\_about\\_water/?p=9637](http://www.cawater-info.net/all_about_water/?p=9637) 20.03.2015

5. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]/ - Режим доступа: <http://moskvadeluxe.ru/eko-neboskreby-mira-bank-of-america-tower/> 20.03.2015

УДК 72.3:502.1

*Прокопович М. А., Лещенко Е. А.*

*Научный руководитель: Мартысюк Н. А.*

## ПОНЯТИЕ ЭКОАРХИТЕКТУРА И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Целью работы является исследование в сфере применения экологических принципов в архитектуре и дизайне.

Говоря об экоархитектуре, мы имеем в виду в первую очередь понятие архитектурного дизайна. Архитектурный дизайн—особый раздел проектирования, который сегодня многие исследователи выделяют в рамках архитектуры, задачей которой является организация материально-пространственных условий жизни человека и общества, но конкретные задачи фактически распадаются на преимущественно художественные («архитектура как искусство»), овеянные в культовых и уникальных общественных сооружениях и приземленно прагматические, воплощаемые в рядовых жилых, производственных и общественных зданиях и комплексах [1].

Экодизайн возник как логичное следствие технического прогресса. В своей деятельности человек не задумывался о проблемах, которые создавал. Потребляя ресурсы, истощая планету, он, помимо всего прочего, загрязнял окружающую среду. О плохой экологии мы слышим постоянно. От загрязнений больших и малых населенных пунктов, незаселенных человеком территорий, до пространств Мирового океана, как например известное Большое тихоокеанское мусорное пятно, открытое в 1988 году, площадь которого, по разным оценкам, может достигать 15 миллионов квадратных километров [2].

Загрязнения не ограничиваются только лишь границами нашей планеты. Похорив космос, человек и там оставил свой след. Загрязнения околоземной орбиты колоссальны и, по некоторым данным, составляют порядка 60000 технических объектов.

Однако нельзя связывать экодизайн только с плохой экологией. Это также своеобразный ответ на кризис общества потребления. Наши дома обрастают множеством вещей, начиная со старых, которые жалко выбросить, и заканчивая новыми, которые нельзя не купить. В итоге пространство для жизнедеятельности получается загроможденным и человек в нем не чувствует себя комфортно.

Корни экодизайна можно найти в работах архитектора и дизайнера Ричарда Букминстера Фуллера, который в течение своей жизни задавался вопросом относительно того, есть ли у человечества шанс на долгосрочное и успешное существование на планете Земля и если да, то каким образом. За всю свою жизнь Фуллер написал двадцать восемь книг, выработав такие термины как «космический корабль “Земля”», «эфемеризация» и «синергетика». Он также сделал большое число изобретений, в основном в сфере дизайна и архитектуры, наиболее известным из которых является лёгкий и прочный «геодезический купол»—пространственная стальная сетчатая оболочка из прямых стержней. Он разработал схемы для сооружений, машин и других объектов, которые разумно расходовали энергию [3].

Сегодня инноваторы подняли идею экодизайна на новый уровень и разрабатывают целые здания, свет, мебель и даже одежду, которая не истощает ресурсы Земли.

Экологический дизайн—это организация пространства, занимаемого людьми, основанная в первую очередь на принципах экологической целесообразности. Из этого следует то, что, говоря об экологическом дизайне, в первую очередь стоит подразумевать дизайн архитектурной среды. Экологический дизайн ставит перед собой цель создать наиболее оптимальные условия для удовлетворения первостепенных человеческих потребностей, не нарушая при этом равновесия в окружающей среде. Необходимо отметить, что экологическая тенденция нашла отражение не только в архитектуре, но на современном этапе своего развития также в дизайне интерьера, мебели, предметах интерьера.

Исходя из основных требований, выдвигаемых различными дисциплинами, таким как экология, энергосбережение, ландшафтная архитектура, дизайн и т.д., можно выявить принципы экодизайна и разделить на два основных блока:

- экономия ресурсов при проектировании, изготовлении, использовании и утилизации, повышенное внимание к происхождению материалов;
- принятие в расчет множества аспектов, начиная с защиты окружающей среды производителем (поставщиком) и заканчивая соблюдением прав работников на предприятиях, гуманным отношением к животным, корректным отношением к поставщикам.

Методы и средства экологического дизайна представлены в схеме (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Методы и средства экологического дизайна**

Технологические методы предусматривают установку нового инженерного оборудования, использование «чистых» технологий. Под техническими методами понимают использование экологически чистых материалов. Архитектурно-планировочные методы, в свою очередь, подразделяются на:

- *градостроительные* (вынос вспомогательных производств, не влияющих на выпуск основного вида продукции, за пределы города, изменение инфраструктуры, изменение размеров, ориентации и конфигурации зданий (корпусов);
- *ландшафтные* (озеленение, изменение рельефа, изменение качества ландшафта);
- *эстетические* (придание эстетического вида объекту).

Основываясь на методах и принципах, можно выделить следующие основные направления при планировке и проектировании объектов, такие как:

- разумное использование пространства
- многофункциональность элементов
- рациональное использование ресурсов (энергии, строительных материалов пригодных для повторного использования).
- использование нетрадиционных источников энергии (энергия солнца, ветра, приливов и отливов)
- использование природных форм (для создания гармоничного пространства вокруг человека, для достижения различных практических задач: сбор дождевой воды, изменение направления движения воздушных потоков, создание светотеневой обстановки, ориентация по сторонам света).

Применение экоконтцепций в архитектуре и дизайне в наше время говорит о возросшем значении экологизации в обществе. Человечество все чаще задумывается над проблемами окружающей среды и стремится, по возможности, найти решения в самых разных областях своей деятельности. Экодизайн, как одно из таких направлений, помогает создать условия для более гармоничного существования человека и природы. Экологическая архитектура — единственный вид проектирования, рассматривающий всю совокупность условий и обстоятельств человеческого бытия как произведение искусства. Все это свидетельствует о том, что роль эооархитектуры в формировании и сохранении определенной культурной общности сложна и многообразна, и это надо учитывать при оценке изменений в соотношении общего и особенного в предметно-пространственной среде, организуемой средствами дизайна.

#### **Список цитированных источников**

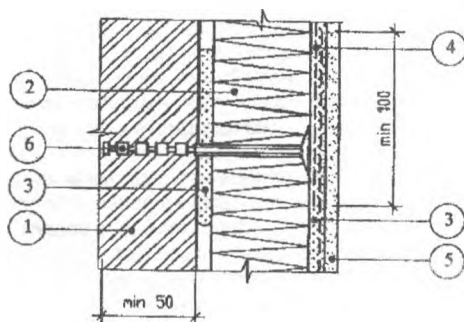
1. Г. Б. Минервин, В. Т. Шимко, А. В. Ефимов. Дизайн: Иллюстрированный словарь-справочник. — М.: Архитектура-С, 2004. — 288 с
2. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]/... - Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Большое\\_тихоокеанское\\_мусорное\\_пятно](https://ru.wikipedia.org/wiki/Большое_тихоокеанское_мусорное_пятно). — Дата доступа: 1.04.2015
3. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]/... - Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Фуллер,\\_Ричард\\_Бакминстер](https://ru.wikipedia.org/wiki/Фуллер,_Ричард_Бакминстер). — Дата доступа: 1.04.2015
4. Медведев В.Ю. Сущность дизайна: Учеб. Пособие. — СПб.: СПГУТД, 2009. — 110 с.
5. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]/... - Режим доступа: <http://www.science-education.ru/110-9670>. — Дата доступа: 1.04.2015
6. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]/... - Режим доступа: <http://www.yaklass.ru/material?chtid=181&mode=cht>. — Дата доступа: 1.04.2015

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТЕПЛЕНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН МЕТОДОМ «ТЕРМОШУБА»

В связи с регулярным и очень быстрым ростом цен на энергоресурсы мы постоянно находимся в поисках способов экономии и сохранности тепла в помещениях. Доказано, что потери тепловой энергии в наших квартирах доходят до 40%, что свидетельствует о том, что практически половину денег на отопление мы тратим впустую. Сегодня все большую и большую популярность для поддержания правильного микроклимата в квартирах и офисах приобретает утепление наружных стен.

С учетом развития рыночной экономики правительство РБ особый упор делает на разработку ресурсосберегающих конструкций и технологий устройства теплоизоляции наружных стен, из которых в республике наиболее широко используется метод «Термошуба» [1].

- 1 - утепляемая стена;
  - 2 - плиты утеплителя;
  - 3 - клеящий состав САРМАЛЕП;
  - 4 - армирующая сетка;
  - 5 - штукатурный состав САРМАЛИТ;
  - 6 - дюбель для крепления плит утепления
- Рисунок 1 – Схема утепления наружной стены методом «Термошуба»**



Метод состоит в креплении к стенам снаружи плит из эффективного теплоизоляционного материала с последующим его оштукатуриванием, причем в качестве теплоизоляционного материала чаще всего используется плиты пенополистирола.

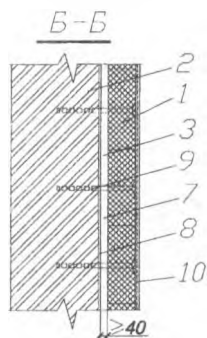
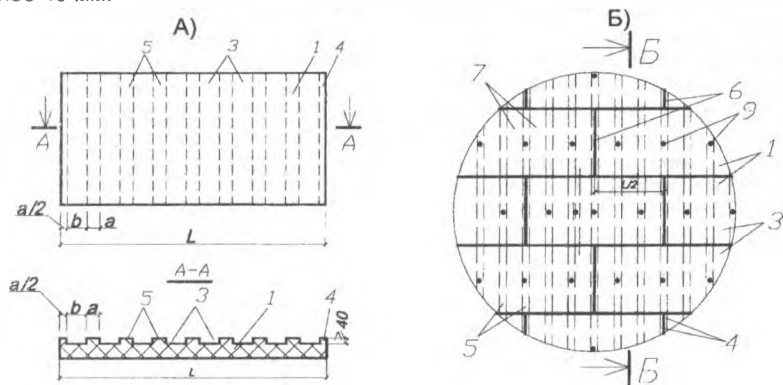
Однако выполнение теплоизоляции из пенополистирольных плит, не пропускающих влагу, которая собирается в зимний период в примыкающих к теплоизоляционным плитам участках наружных стен, приводит к переувлажнению и ухудшению теплоизоляционных свойств последней, особенно в случае наружных стен помещений с мокрым и влажным режимом эксплуатации.

Для удаления избыточной влаги естественной конвекцией в зимнее время теплоизоляционные плиты монтируются с воздушным зазором порядка 40 мм, при этом в нижней и верхней частях стены устраиваются продухи, закрываемые в зимнее время. Воздушный зазор образуется с помощью прокладок из пенополистирола, установка которых существенно повышает трудозатраты на производство работ по утеплению стен.

Для исключения необходимости установки прокладок в УО БрГТУ разработана теплоизоляционная плита (рис.2, [2]), выполненная со стороны примыкания к наружным стенам здания с вертикальными выемками с образованием крайних и промежуточных ребер, причем ширина  $b$  промежуточных ребер в два раза превышает ширину крайних ребер и принимается из выражения:

$$b = \frac{L}{n} - a,$$

где  $L$  – длина теплоизоляционной плиты,  $n$  – количество вертикальных выемок,  $a$  – ширина вертикальных выемок, а вертикальные выемки выполнены в поперечном сечении прямоугольными или в виде кругового сегмента глубиной не менее 40 мм.



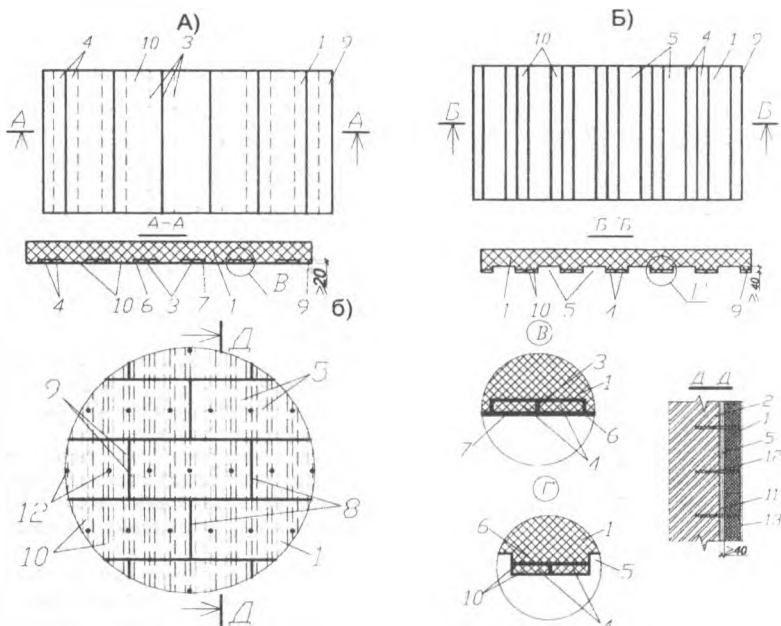
А) – общий вид теплоизоляционной плиты с прямоугольными вертикальными выемками; Б) – фрагмент фасада утепленной теплоизоляционными плитами наружной стены; 1 – теплоизоляционная плита; 2 – наружная стена здания; 3 – вертикальные выемки; 4 – крайние ребра; 5 – промежуточные ребра; 6 – вертикальные швы; 7 – вертикальные воздушные каналы; 8 – клеевой состав (прослойка); 9 – крепежные анкера; 10 – наружный защитно-отделочный слой  
Рисунок 2 – Теплоизоляционная плита по патенту РБ №9648, обеспечивающая формирование воздушных каналов:

Для обеспечения максимальной перевязки вертикальных швов прикрепленных к наружной стене теплоизоляционных плит количество вертикальных выемок принимается четным, при этом обеспечивается перевязка на половину длины теплоизоляционной плиты с совмещением по вертикали вертикальных выемок, образующих между утеплителем и наружной стеной по всей высоте вертикальные воздушные каналы, сообщающихся с наружным воздухом. Вертикальные выемки выполнены глубиной не менее 40 мм, при этом в вертикальных воздушных каналах будет обеспечиваться конвективный воздухообмен, т.е. возможность удаления избыточной влаги из наружных стен здания.

При устройстве теплоизоляции наружных стен здания теплоизоляционные плиты укладываются горизонтальными рядами с прикреплением к наружной стене клеевым составом, наносимым перед установкой теплоизоляционных плит на крайние и промежуточные ребра, и крепежными анкерами. В нижней и верхней частях вертикальных воздушных каналов устраиваются продухи, пе-

рекрываемые в зимнее время (на чертежах не показано). На заключительном этапе по смонтированной теплоизоляции устраивается наружный защитно-отделочный слой. Благодаря предлагаемой конструкции теплоизоляционной плиты образуются воздушные каналы, способствующие выводу водяных паров из наружных стен, без необходимости установки прокладок, что обеспечивает снижение трудозатрат на утепление стен.

С целью возможности образования вертикальных воздушных каналов при креплении к стене пенополистирольных плит в виде прямоугольного параллелепипеда, плиты можно в строительных мастерских выполнить со стороны примыкания к наружным стенам с вертикальными Г-образными прорезями с возможностью поворота на 180° ограниченных Г-образными вертикальными прорезями участков теплоизоляционной плиты (рис.3, [3]). Образование прорезей можно производить нагреваемой посредством пропуска электрического тока струны из тугоплавкого металла



А) общий вид теплоизоляционной плиты для наружных стен зданий;

Б) то же, после поворота на 180° ограниченных Г-образными вертикальными прорезями участков теплоизоляционной плиты;

1 – теплоизоляционная плита; 2 – наружная стена здания; 3 – Г-образные вертикальные прорези; 4 – ограниченные Г-образными вертикальными прорезями участки теплоизоляционной плиты; 5 – вертикальные воздушные каналы; 6 – клеевой состав; 7 – отрывная пленка; 8 – вертикальные швы; 9 – крайние ребра; 10 – промежуточные ребра; 11 – клеевая прослойка; 12 – крепежные анкера; 13 – наружный защитно-отделочный слой.

**Рисунок 3 – Теплоизоляционная плита по патенту РБ №9767 с Г-образными прорезями, обеспечивающая формирование воздушных каналов**

Причем расстояние между вертикальными ГГ - образными прорезями принимается равным ширине последних, крайние вертикальные ГГ - образные прорези расположены на расстоянии половины их ширины от краев теплоизоляционной плиты и вертикальные ГГ - образные прорези выполнены глубиной не менее 20 мм, а их количество принимается четным. При этом на примыкающую к наружной стене поверхность теплоизоляционной плиты нанесен клеевой состав, защищенный отрывной пленкой.

Перед устройством теплоизоляции наружных стен здания с каждой теплоизоляционной плиты снимается отрывная пленка, ограниченные ГГ - образными вертикальными прорезями участки теплоизоляционной плиты поворачиваются на 180° и приклеиваются к выступающим частям теплоизоляционной плиты с образованием крайних и промежуточных ребер и формированием между ними вертикальных воздушных каналов.

При этом технология устройства теплоизоляции наружных стен аналогично ранее приведенной для теплоизоляционных плит по патенту РБ №9648

#### **Список цитированных источников**

1. П 1-99 к СНиП 3.03.01-87. Проектирование и устройство тепловой изоляции наружных стен зданий методом «Термошуба». - Минск: Госкомэнергосбережение РБ, 1999. - 56 с.

2. Патент РБ №9648, МКИ Е 04В 1/78. Теплоизоляционная плита для наружных стен здания. / В.Н.Пчелин, В.Н.Черноиван, В.И.Юськович, К.С.Сидорук, М.В.Савчук; Учреждение образования «Брестский государственный технический университет» (ВУ).- Заявл. 24.04.13; Опубл. 30.10.13 г.; Бюл.№ 5(94)// Афицыйны бюллетень.- 2013 .- №.5(94). С.205.

3. Патент РБ №9767, МКИ Е 04В 1/78. Теплоизоляционная плита для наружных стен здания. / В.Н. Пчелин, В.Н. Черноиван, В.И. Юськович, В.П. Чернюк, М.В. Савчук, К.С. Сидорук; Учреждение образования «Брестский государственный технический университет» (ВУ).- Заявл. 16.09.13; Опубл. 30.12.13 г.; Бюл.№ 6(95) // Афицыйны бюллетень.- 2013 .- №.6(95), с.213.

УДК 69.022.3 (088.8)

**Савчук М.В.**

**Научные руководители: доц. Пчелин В.Н., доц., к.т.н. Юськович В.И.**

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТЕПЛЕНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН ПОМЕЩЕНИЙ С МОКРЫМ И ВЛАЖНЫМ РЕЖИМОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

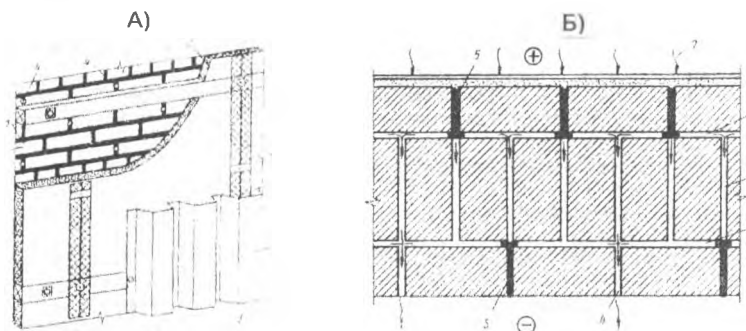
Сегодня, когда топливный кризис стал фактом нашей жизни, уже никто не сомневается в том, что стены старых домов нуждаются в дополнительном утеплении, а новые здания необходимо изначально проектировать и строить в ориентации на нормативные требования по тепловой защите, диктующие конкретные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Один из способов решения этих задач – утепление наружных стен методом «Термошуба». Метод состоит в креплении к стенам снаружи плит эффективного теплоизоляционного материала с последующим его оштукатуриванием, причем в качестве теплоизоляционного материала чаще всего используется обладающие небольшой стоимостью плиты пенополистирола [1].

Для удаления избыточной влаги естественной конвекцией в зимнее время теплоизоляционные плиты монтируются с воздушным зазором порядка 40 мм, при этом в нижней и верхней частях стены устраиваются продухи, закрываемые в зимнее время.

Однако, в случае наружных стен помещений с мокрым и влажным режимом эксплуатации выполнение теплоизоляции из пенополистирольных плит, не пропускающих влагу, которая собирается в зимний период в примыкающих к теплоизоляционным плитам участках наружных стен, приводит к переувлажнению и ухудшению теплоизоляционных свойств стен.

Для улучшения отвода влаги из стен эксплуатируемых зданий перед устройством теплоизоляции в вертикальных швах кладки выполняются отверстия диаметром 5-10 мм, глубиной 130-150 мм и на расстоянии 250-370 мм друг от друга (рис. 1, [2]).



А) общий вид утепленной стены; Б) горизонтальный разрез кирпичной стены; 1 – кирпичная стена; 2 – утеплитель; 3 – защитный экран; 4 – отверстия в вертикальных швах; 5 – вертикальные швы в лицевых верстовых рядах; 6 – вертикальные швы в забутовке  
**Рисунок 1 – Утепленная наружная стена со вскрытой системой воздушных каналов в теле кладки по А.с. СССР №1448006 [2]**

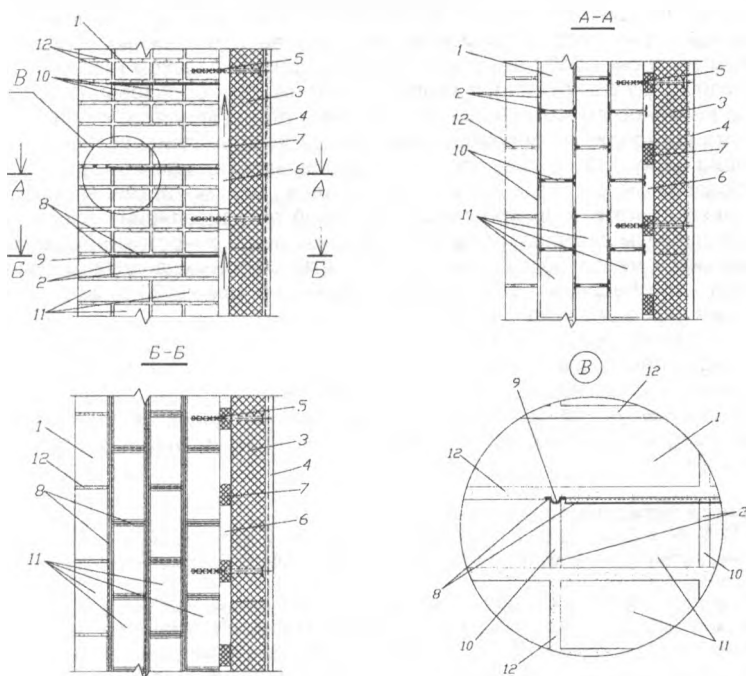
Проведенные исследования показали, что в кирпичных стенах раствор не полностью заполняет вертикальные швы в забутовке, при этом по всей длине кладки образуются сообщающиеся воздушные полости. Просверленные отверстия вскрывают в кладке сеть полостей (каналов), благодаря чему увеличивается поверхность испарения влаги по сравнению с гладкой поверхностью не менее чем на 20%, что способствует выходу водяного пара из толщи стены, а следовательно, и ее эффективному осушению.

Однако формирование воздушных каналов в теле кладки посредством сверления в вертикальных поперечных швах кирпичной кладки отверстий, которые вскрывают в кладке сеть полостей, образующихся в кладке в случае укладки кирпичей забутовки «впустошовку», не позволяет получить качественную систему воздушных каналов, так как, даже в случае укладки кирпичей забутовки «впустошовку» вертикальные и продольные вертикальные швы в значительной степени заполняются раствором. Кроме того, необходимость сверления в вертикальных поперечных швах кирпичной кладки отверстий с приставных лесов или подвесных люлек приводит к повышению трудозатрат на производство работ.

В Брестском государственном техническом университете предлагается систему воздушных каналов кирпичной стены образовывать в процессе кладки стен посредством накладных пластин с продольными выступами, опирае-





мых на уложенные в рядах кирпичной стены с вертикальными зазорами смежные кирпичи с заведением продольных выступов накладных пластин в указанные зазоры через 3-4 ряда кирпичной стены (рис.2, [3]).



1 – кирпичная стена; 2 – воздушные каналы в кирпичной стене; 3 – теплоизоляция; 4 – защитно-отделочный слой; 5 – крепежные анкера; 6 – воздушный зазор; 7 – прокладки; 8 – накладные пластины; 9 – продольные выступы; 10 – вертикальные зазоры; 11 – кирпичи; 12 – кладочный раствор

**Рисунок 2 – Утепленная наружная стена с образуемой в процессе кладки стен системой воздушных каналов в теле кладки по патенту РБ №9924 [3], вертикальный разрез**

Благодаря накладным пластинам расстилаемый кладочный раствор вышерасположенного ряда кирпичной кладки не заполняет вертикальные зазоры (вертикальные поперечные и продольные швы кирпичной кладки) между кирпичами, т.е. образуется качественная система воздушных каналов.

Причем накладные пластины выполнены в сечении  или  - образными, а ширина выступов накладных пластин принимается не более ширины вертикальных зазоров между смежными кирпичами в рядах кирпичной стены.

Раскладку накладных пластин следует производить в пределах забутовки (части забутовки) и наружной версты кирпичной кладки через 3-4 ряда кирпичной стены, при этом из толщи кирпичной стены эффективно выводятся водяные пары при минимальных затратах на накладные пластины. Накладные пластины целесообразно изготавливать, с целью снижения стоимости, пресованием из отходов пластмассы.

Наружное ограждение зданий при этом содержит кирпичную стену с системой воздушных каналов, имеющих выход на наружную поверхность, и прикрепленную снаружи к кирпичной стене теплоизоляцию с защитно-отделочным слоем.

Теплоизоляция выполнена из пенополистирольных плит и прикреплена к кирпичной стене посредством клеевого состава и крепежных анкеров с воздушным зазором, сообщающимся с атмосферным воздухом (через продухи) и системой воздушных каналов кирпичной стены. Для образования воздушного зазора не менее 40 мм пенополистирольные плиты крепятся к кирпичной стене через прокладки из обрезков пенополистирольных плит. Устройство теплоизоляции целесообразно выполнять параллельно с кладкой стен.

Образование системы воздушных каналов кирпичной стены посредством накладных пластин и приращение наружной теплоизоляции к кирпичной стене с воздушным зазором позволяет сформировать качественную систему сообщающихся через воздушный зазор с атмосферным воздухом воздушных каналов, что обеспечивает повышение не менее чем на 20 % эффективности удаления паров влаги из кирпичных стен.

Исключение необходимости сверления в вертикальных поперечных швах кирпичной кладки отверстий с приставных лесов или подвесных люлек позволяет снизить трудозатраты на производство работ.

Максимальную эффективность предлагаемое наружное ограждение зданий может дать при возведении зданий с мокрым и влажным режимом эксплуатации.

#### **Список цитированных источников**

1. П 1-99 к СНиП 3.03.01-87. Проектирование и устройство тепловой изоляции наружных стен зданий методом «Термошуба».- Минск: Госкомэнергосбережение РБ, 1999.- 56 с.

2. Авт. св. СССР №1448006, МКИ Е 04 В 1/70. Устройство для осушения кирпичных и мелкоблочных стен эксплуатируемых зданий./ К.М.Черемисов, Ю.А.Суров, А.А.Панютин, В.А.Козлов, В.В.Голубкова, В.И.Лукьянов; Московский институт инженеров железнодорожного транспорта.- Заявл.19.12.86; Опубл.30.12.88; Бюл.№48 // Официальный бюллетень.- 1988.- №48.

3. Патент РБ №9924, МКИ Е 04В 1/70. Наружное ограждение зданий / В.Н. Пчелин, П.С. Пойта, М.В. Савчук, К.С. Сидорук, Д.А.Жданов; Учреждение образования "Брестский государственный технический университет" (ВУ).- Заявл.22.07.13; Опубл.28.02.14; Бюл.№1 // Афицыйны бюллетень.- 2014 - №1.

**Собешук С.И., П-327**

**Научный руководитель: доц. Срывкина Л.Г.**

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СМЕТНОЙ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВАНИИ НРР-2012**

В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 11.08.2011 № 361 «О совершенствовании порядка определения стоимости строительства» [1] в Республике Беларусь с 1 января 2012 года определение сметной стоимости строительства и составление сметной документации осуществляется на основании нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении и текущих цен на ресурсы (НРР-2012), то есть с применением **ресурсного метода**.

Ресурсный метод основывается на применении фактических (текущих) цен, тарифов к нормативному расходу ресурсов.

В общем виде стоимость  $i$ -го ресурса при выполнении  $j$ -й работы определяется по формуле:

$$\dot{N}_{ij} = \dot{O}_i \times I_{ij} \times Q_j, \quad (1)$$

где  $C_{ij}$  – стоимость  $i$ -го ресурса при выполнении  $j$ -й работы, руб.;  $C_i$  – текущая цена единицы  $i$ -го ресурса, руб.;  $H_{ij}$  – норма расхода  $i$ -го ресурса на выполнение единицы объема  $j$ -й работы, нат. ед. изм.;  $Q_j$  – объем  $j$ -й работы, нат. ед. изм.

Нормативы расхода ресурсов подразделяются на общереспубликанские, ведомственные и производственные [2]. Общереспубликанские нормативы утверждаются Министерством архитектуры и строительства и являются обязательными при составлении сметной документации и определении сметной стоимости строительства по объектам, финансируемым полностью или частично за счет бюджетных и приравненных к ним средств, а также при строительстве жилых домов (за исключением финансируемых с использованием средств иностранных инвесторов). По остальным объектам заказчик в задании на проектирование должен указывать, какие нормативы следует применять при составлении сметной документации. Ведомственные применяются для специфических видов строительства: дорожного, мелиоративного, создания объектов энергетики и др. Производственные нормативы разрабатываются и утверждаются организациями строительного комплекса с учетом условий их деятельности.

Порядок расчета и применения текущих цен на ресурсы определяется Методическими рекомендациями [3]. Ежемесячно обновляется Республиканская нормативная база текущих цен на ресурсы, для чего производится сбор исходных данных об отпускных ценах на строительные материалы и ценах на эксплуатацию строительных машин по областям и городу Минску (мониторинг цен). Формируют базу Республиканский научно-технический центр и организации по ценообразованию в строительстве на основе информации, предоставляемой поставщиками, подрядными организациями, приобретающими материалы для строительства, организациями, на балансе которых находятся строительные машины и механизмы, а также Национальным статистическим комитетом и Министерством экономики Республики Беларусь.

При этом Республиканская база не охватывает всей многочисленной номенклатуры ресурсов. Мониторинг цен на отсутствующие в ней ресурсы проводится проектными организациями для создания собственной информационной базы. Они используют данные средств массовой информации (печатных изданий, электронных источников). Это является трудоемкой задачей в связи с традиционным отсутствием данных о ценах на ресурсы отечественных производителей и поставщиков в средствах массовой информации. На сайте поставщика обычно имеются только характеристики материалов, изделий и конструкций. Ценовая информация или отсутствует, или редко обновляется.

Первичным сметным документом, на основании которого определяется сметная стоимость отдельных видов работ и расходов на строительство объекта, является **локальная смета**.

Порядок составления сметных документов в Беларуси с 1 января 2012 г. регламентируется Инструкцией о порядке определения сметной стоимости строительства и составления сметной документации на основании НРР [4]. В частности, локальная смета составляется по форме, приведенной в Приложении 1 к данной Инструкции.

Исследование позволило выявить **недостатки действующего порядка составления локальных смет:**

1) локальная смета не отражает в явном виде показателей, применяемых при расчете сметной стоимости строительства ресурсным методом;

2) при определении сметной стоимости требуется выполнение излишних действий, результаты которых не обладают самостоятельной значимостью и не используются в дальнейших расчетах. Это связано с тем, что разработчики Инструкции [4] сохранили форму локальной сметы, применяемую до 1 января 2012 г. при определении сметной стоимости строительства, не совсем удачно «втиснув» в нее новую методику;

3) форма локальной сметы является громоздкой, а порядок ее заполнения – трудным для восприятия (особенно лицами, не знакомыми с действовавшими ранее методиками).

Стоимость отдельных видов работ может определяться также в **ресурсно-сметных расчетах**. В Инструкции [4] его форма и указания по составлению не представлены. Однако программный комплекс RSTC.smeta, разработчиком которого является Республиканский научно-технический центр по ценообразованию в строительстве, предусматривает возможность составления данного сметного документа. В его графах по отдельным сметным позициям отражаются: расход ресурсов на единицу измерения конструкций и работ, стоимость единицы и общая стоимость каждого ресурса (в том числе заработная плата машинистов и транспортные расходы).

Ресурсно-сметный расчет в большей степени отвечает сущности ресурсного метода определения сметной стоимости строительства, но также не лишен недостатков. Так, форма ресурсно-сметного расчета не предусматривает возможности отражения по каждой сметной позиции и проектно-технологическому модулю (ПТМ) **общей стоимости ресурсов в разрезе статей расходов:** заработная плата рабочих; эксплуатация машин и механизмов, в том числе заработная плата машинистов; материалы, изделия и конструкции; транспортные расходы. В результате не прослеживается в явном виде связь с другими сметными документами – ведомостями объемов работ и расхода ресурсов; нет возможности анализировать правильность подбора нормативов расхода ресурсов по отдельным сметным позициям, что является важной частью работы со сметной документацией. Таким образом, ресурсно-сметный расчет не может в полной мере заменить локальную смету.

На основе представленного выше можно сделать следующий **вывод:** *регламентируемые нормативными документами форма локальной сметы и порядок ее заполнения не соответствуют потребностям ресурсного метода составления сметной документации и требуют пересмотра.*

Концепция ресурсного метода предполагает, что локальная смета должна четко отражать следующие показатели:

- норму расхода ресурса на единицу работы;
- общую потребность в ресурсе;
- цену ресурса;
- стоимость ресурса.

На основании анализа порядка составления локальной сметы ресурсным методом предлагается **форма локальной ресурсной сметы**, представленная в таблице 1.

От действующей предлагаемая форма отличается введением дополнительной графы, в которой помимо нормы расхода приводится общее количество ресурсов каждого вида; отсутствием избыточных действий, связанных с расчетом единичной стоимости статей расходов; подведением итогов по каждой сметной позиции не в первой строке, что является нелогичным, а в последней строке, связанной с данной сметной позицией («Итого прямые затраты по пункту»).

#### Достоинства предлагаемой формы локальной ресурсной сметы:

1) форма и порядок ее заполнения полностью соответствуют концепции ресурсного метода определения сметной стоимости строительства, в ней четко видны нормы расхода ресурсов, общий расход на выполнение требуемого объема работ, а также цены ресурсов и их общая стоимость;

2) при составлении локальной сметы не требуется выполнения излишних расчетов, устраняются «пережитки» базисно-индексного метода определения сметной стоимости строительства;

3) облегчается восприятие отражаемой в смете информации, так как калькулирование стоимости ресурсов ведется «сверху вниз» и итоги подводятся в последней, а не в первой строке, описывающей работу

4) представленная форма совмещает в себе информацию из ведомости ресурсов и локальной сметы, т.е. составление отдельной ведомости ресурсов не является обязательным;

5) в локальной смете содержатся все данные, которые необходимы в дальнейшем при составлении объектной сметы и сводного сметного расчета стоимости строительства, таким образом, она органично вписывается в существующую систему сметной документации.

Таблица 1 – Предлагаемая форма локальной сметы и пример ее заполнения

### ЛОКАЛЬНАЯ СМЕТА № 1

#### на общестроительные работы подземной части

Составлена в ценах на 1 мая 2015 г.

№	Обоснование	Наименование работ, ресурсов, расходов	Ед. изм.	Норма расхода	Стоимость: единицы измерения / всего, руб.						
					Общее кол-во	зараплата	эксплуатация машин и механизмов		материалы	транспорт	общая стоимость
							всего	в т.ч. зарплата			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
		Цена 1 чел.-часа 4 разряда: 43412 руб.									
	Ж114	<b>СТЕНЫ</b>									
1	E7-42-2	Установка блоков стен подвала массой до 1 т	100 шт.	0,05							
		<b>Трудовые ресурсы</b>									
		Средний разряд рабочих- строителей – 3,5 (межразряд- ный коэф-т $K_{ид}=0,9299$ )									

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1-1	Затраты труда рабочих-строителей (43412*0,9299=40369 руб./чел.-ч для разряда 3,5)	чел.-ч	79,49 3,9745	40369 160446						
1-3	Затраты труда машинистов	чел.-ч	27,71 1,3855							
	<b>Машины и механизмы</b>									
M021243	Краны на гусеничном ходу до 16 т	маш.-ч	21,66 1,083			124000 134292	-			
M331617	Средства малой механизации	маш.-ч	6,05 0,3025			67190 20325	37330 11292			
	<b>Материалы, изделия, конструкции</b>									
C414-1004-3	Бетон тяжелый с крупностью заполнителя более 10 до 20 мм класса С10/12,5 (транспортные расходы – 8,9%)	м <sup>3</sup>	0,71 0,0355					621524 22064	55316 1964	
C414-2004	Растворы кладочные тяжелые цементные, марки 50	м <sup>3</sup>	1,65 0,0825					537971 44383	47879 3950	
	<b>ИТОГО ПРЯМЫЕ ЗАТРАТЫ ПО П. 1</b>				160446	154617	68190	66447	5914	387424
	<b>Затраты труда рабочих</b>		3,9745							
	<b>Затраты труда машинистов</b>		1,3855							
2 583521-1	Блок стены подвала ФБС24.3.6	шт.	- 5					360021 1800105	32042 160210	
	<b>ИТОГО ПРЯМЫЕ ЗАТРАТЫ ПО П. 2</b>				-	-	-	1800105	160210	1960315
	<b>Итого прямые затраты по пп. 1 – 2</b>									2347739
	<b>ОХР и ОПР, 57,02 %</b>									130368
	<b>Плановая прибыль, 63,54 %</b>									145275
	<b>ИТОГО ПО ПТМ</b>									2623382
	<b>Затраты труда рабочих</b>		4							
	<b>Затраты труда машинистов</b>		1							

Список цитированных источников

1. О совершенствовании порядка определения стоимости строительства объектов и внесении изменений в некоторые указы Президента Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь, 11 авг. 2011 г., № 361. – Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2011. – № 93. – 1/12766.

2. Положение о порядке утверждения нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении: пост. Совмина Респ. Беларусь, 18.11.2011, № 1553. – Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2011. – № 131. – 5/34789.

3. Методические рекомендации о порядке расчета текущих цен на ресурсы, используемые для определения сметной стоимости строительства и составления сметной документации на основании нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении: приказ Минстройархитектуры Республики Беларусь от 29.12.2011 № 457.

4. Инструкция о порядке определения сметной стоимости строительства и составления сметной документации на основании нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении: пост. Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 18.11.2011 г., № 51. – Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2011. – № 144. – 8/24543.

УДК [625.7+624.131] (075)

*Станчук В.В.*

*Научный руководитель: ассистент Козловский Д.С.*

### **МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ПРОЦЕССОМ ОТРАЖЕННОГО ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ С ЖЕСТКИМИ ДОРОЖНЫМИ ОДЕЖДАМИ**

Применение асфальтобетона для ремонта цементобетонных покрытий связано с целым рядом положительных факторов: технологичность устройства дорожного покрытия; полная механизация процессов изготовления и укладки смеси; открытие движения по устроенным покрытиям сразу же после уплотнения; возможность обеспечения необходимого сцепления колеса с поверхностью покрытия.

Вместе с тем слоям усиления из асфальтобетона присущи и серьезные недостатки. Одним из главных - образование в асфальтобетонных слоях усиленных отраженных трещин, копирующих имеющиеся в основании швы или трещины. С течением времени трещины прогрессируют и служат причиной образования более существенных дефектов, снижающих транспортно-эксплуатационные характеристики покрытия.

Выделяют такие основные причины, приводящие к образованию отраженных трещин:

- растягивающие горизонтальные напряжения в асфальтобетонном покрытии от его несвободного деформирования при изменении температуры;
- растягивающие горизонтальные напряжения в асфальтобетонном покрытии над швами или трещинами цементобетонного основания при горизонтальном деформировании блоков основания вследствие изменения температуры;
- растягивающие горизонтальные напряжения в асфальтобетонном покрытии от его изгиба при проезде транспортного средства;
- растягивающие горизонтальные напряжения в асфальтобетонном покрытии от усадки при старении смеси;
- поперечные касательные напряжения в асфальтобетонном покрытии по вертикальной площадке над швом или трещиной при проезде транспортного средства [Леонович, 2011].

При плохом состоянии дорожного покрытия значительно ухудшаются условия движения: появляются вредные для водителя и автомобиля вибраций, существенно усложняются условия работы водителя, так как ему длительное

время приходится отслеживать состояние проезжей части. Всем этим внимание водителя отвлекается от других важных с точки зрения безопасности дорожного движения элементов дороги и автомобиля. Поэтому увеличение количества трещин на дорожном покрытии приводит к повышению аварийности [Леонович, 2011].

Характер возникновения ДТП заключается в необходимости неожиданного изменения скоростного режима (экстренное торможение), маневра в плане или одновременного совершения этих двух действий. При наличии попутного и встречного транспортных потоков вероятность столкновения в этих случаях резко возрастает. Кроме того, трещины вызывают колебания подвески, что может привести к потере управляемости. Колебания прицепов и полуприцепов автопоездов приводят к увеличению динамического коридора движения, что также увеличивает вероятность столкновения и возможность потери боковой устойчивости. Наличие отражённых трещин на дорогах повышает утомляемость водителей, отвлекает их внимание от восприятия других объектов на дороге, снижает пропускную способность дороги и в конечном итоге снижает производительность подвижного состава.

Кроме вышеперечисленных последствий трещины в покрытии, под воздействием нагрузок, погодно-климатических факторов и несвоевременной реакции дорожных служб, расширяются и приводят к ещё большему повреждению покрытия, что влечёт за собой дорогостоящие ремонтные работы.

Для предотвращения воздействия на дорожную одежду перечисленных факторов в покрытии устраиваются продольные и поперечные швы:

- швы деформационные (швы расширения, сжатия, коробления и рабочие): температурные швы, которые устраивают в цементобетонных покрытиях для уменьшения напряжений, возникающих при сезонных и суточных изменениях температуры воздуха [ТКП 45-3.03-244-2011..., 2012];

- швы контрольные: деформационные швы ограниченной глубины, по конструкции аналогичные швам сжатия, обеспечивающие температурно-усадочную трещиностойкость в раннем возрасте, устраиваемые через каждые две-три плиты [ТКП 45-3.03-244-2011..., 2012];

- швы коробления: швы по типу армированных швов сжатия, повышают продольную устойчивость покрытия, уменьшают в плитах температурные деформации при неравномерном изменении температуры по высоте сечения [ТКП 45-3.03-244-2011..., 2012];

- швы продольные: швы, которые устраивают по оси дороги при покрытии шире 4,5 м [ТКП 45-3.03-244-2011..., 2012];

- швы рабочие: швы по типу швов сжатия, которые устраивают при вынужденных перерывах бетонирования [ТКП 45-3.03-244-2011..., 2012];

- швы расширения: швы, которые разрезают покрытие по всей ширине и на всю толщину, образуя зазоры между соседними плитами, ширина которых обеспечивает свободу перемещения плит при расширении, повышении температуры или увеличении влажности бетона [ТКП 45-3.03-244-2011..., 2012];

- швы сжатия: швы, которые разрезают покрытие по всей ширине на глубину не менее 1/4 толщины и дают возможность плитам сокращать свои размеры, т.е. сжиматься при усадке бетона в процессе его твердения или понижения температуры [ТКП 45-3.03-244-2011..., 2012].

При реконструкции автомобильных дорог развитие отраженных трещин в асфальтобетонном слое можно замедлить путем устройства между верхним асфальтобетонным слоем и старым цементобетонным покрытием трещино-



прерывающей прослойки крупнопористой структуры. Слой, уменьшающий трещинообразование представляет собой крупнозернистую асфальтобетонную смесь с открытой гранулометрией, содержащей до 25% сообщающихся между собой воздушных пустот, образованных межзерновым пространством [Яромко..., 2002].

В качестве трещинопрерывающих прослоек рекомендуется использование материалов (черный щебень, щебень расклинцованный битумно-песчаной смесью, песчано-гравийная смесь, щебень или гравий, обработанные органическим вяжущим – битумом, битумной эмульсией). Пластические деформации этих прослоек подавляют образование отраженных трещин в покрытии. Толщина прослойки назначается в соответствии с расчетом, в зависимости от категории дороги и материала трещинопрерывающей прослойки. При этом необходимо толщину прослойки из обработанного материала суммировать с толщиной нижележащего слоя основания из укрепленного материала.

Наиболее распространенный способ ремонта трещин заключается в заливке их битумом или битумной мастикой.

Заливка трещин должна производиться немедленно после очистки. В зависимости от ширины трещин для их заполнения могут быть использованы различные материалы. Узкие трещины шириной до 3-5 мм после очистки промазывают жидким с помощью заливчика трещин заполняют жидким или вязким разжиженным битумом или битумом СГ 130/120, МГ 200/300, БНД 200/300, нагретым до рабочей температуры 160-170°C. После заполнения битумом трещины присыпают песком.

Средние и широкие трещины шириной до 3 см после очистки обрабатывают жидким битумом с помощью распылителя или краскопульта и, используя раздаточный пистолет заливчика швов, заполняют резинобитумной мастикой, нагретой до 150-170°C. После этого присыпают поверхность сухим нагретым песком или каменной мелочью. Работу выполняют захватками длиной 100-200 м. В состав мастики для заливки швов входит вязкий битум, минеральный порошок, резиновая крошка и асбест коротковолокнистый, который может быть заменен синтетическими волокнами [Яромко..., 2002].

Для упрощения технологии заделки трещин и повышения качества этих работ применяют мастики с твердыми наполнителями, которые отличаются повышенной механической прочностью и тепловой устойчивостью.

Обычные способы заполнения трещин органическими вяжущими или пластификаторами и другими составами позволяют обеспечить гидроизоляцию покрытий и снизить вероятность образования выбоин, однако при этом не восстанавливается сплошность покрытия.

Частично эта задача решается при ремонте трещин с разогревом материала их стенок до высокой температуры, при которой битум в старом покрытии становится пластическим и соединяется с горячим наполнителем. Более монолитным становится покрытие с трещинами, ремонт которого выполнен методом горячей регенерации на месте.

Одним из способов ликвидации трещин с улучшением сплошности и монолитности покрытия в естественном состоянии летом является пластификация материала покрытия в зоне, прилегающей к трещине. Суть способа состоит в том, что очищенные трещины заполняются реагентами, разжижающими и пластифицирующими битум стенок и кромок покрытия. Пластификатором заполняют трещину и обрабатывают поверхность покрытия, прилегающую к ней. Под действием транспорта при высокой летней температуре происходит за-

крытие трещин с восстановлением сплошности и прочности материала покрытия. Этот способ наиболее приемлем для ликвидации трещин шириной 3-7 мм, но даёт положительный эффект и при заделке более узких и более широких трещин.

Для закрепления ремонтного материала можно заклеить трещину геотекстильным материалом шириной ленты 8-12 см. Такой способ применим при заделке узких и средних трещин. Эти трещины очищают продувкой сжатым воздухом, обмазывают жидким битумом или битумной мастикой. Одновременно разливают вязкий битум при температуре 80-170°C шириной полосы по 4-6 см в обе стороны от середины трещины. По разлитому битуму немедленно укладывают заранее заготовленную геотекстильную ленту, сматывая ее с бухты, установленной на ручной тележке. Ленту накладывают на битум и прижимают к нему прижимным валиком. Происходит приклеивание ленты к битуму. В точках поворота трещины тележку опирают на валик и поворачивают в нужном направлении.

Для повышения трещиностойкости асфальтобетонного покрытия над поперечными швами в основании рекомендуется армировать асфальтобетон над швами сетками, располагая их симметрично вдоль шва; ширина сеток — от 80 до 160 см [ТКП 45-3.03-244-2011..., 2012]. При этом геосетка включается в работу на растяжение при изгибе, предотвращая превращение микротрещин в раскрытые трещины, а геотекстиль выполняет роль демпфирующей прослойки, сглаживающей усилия, возникающие в зоне трещины или шва при температурных перемещениях несущих слоев оснований, имеющих значительно больший коэффициент линейного расширения, чем асфальтобетон [Яромко..., 2002].

#### **Список цитированных источников**

1. Леонович И.И., С.В. Богданович, И.В. Нестерович. Диагностика автомобильных дорог: учеб. пособие – Минск: Новое знание; М.:ИНФА – М, 2011. – 350с. [4] л. ил.: ил. – (Высшее образование).
2. ТКП 45-3.03-244-2011 (02250). Автомобильные дороги. Дорожные одежды жёсткого типа. Строительные нормы проектирования. -Минск.: Минстройархитектуры, 2012. – 60с.
3. Яромко В.Н. Реабилитация дорожных покрытий. Опыт применения новых технологий при модернизации автомобильной дороги Брест-Минск-граница России – Мн., 2002. – 106 с.

УДК 728191-048.35(476.7)

**Струц А.В.**

**Научный руководитель: ст. преподаватель Коняев П. Н.**

## **РЕНОВАЦИЯ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ 50-Х ГОДОВ ХХ ВЕКА**

Целью настоящей работы является актуализация проблемы физического износа панельных зданий 50-х годов ХХ века, рассмотрение способов повышения комфортабельности здания, улучшения его архитектурного облика, а так же повышение его энергоэффективности. Тематика данной работы обусловлена проблемой удручающего внешнего и внутреннего вида панельных зданий. Существуют различные способы, при помощи которых можно разнообразить архитектуру города путем реновации.

### Основная часть

Проблема морального и физического старения возведенных индустриальным методом панельных зданий и необходимость их модернизации сегодня актуальна в Беларуси, где подобные постройки составляют до 80% жилого фонда. Индустриальный метод строительства многоэтажных жилых домов был апробирован архитектором В.И. Светличным, который заключался в широком применении при строительстве готовых конструкций и железобетона, что заложило предпосылки для дальнейшего панельного домостроительства.

С 1957 года началось строительство 5-этажных панельных домов. Реновация этих зданий и стала объектом рассмотрения.

Опыт Беларуси. Институт «Белжилпроект» первым в СССР разработал вариант модернизации «хрущевок», который был признан лучшим конструкторско-технологическим решением на всесоюзном конкурсе. В 1989 г. был реконструирован первый жилой дом в столице – по ул. Осипенко, 21, после чего стало ясно, что маленькие комнатки можно превратить в достойное жилье. На одной лестничной площадке было четыре квартиры, в каждой – кухня до 6 м<sup>2</sup>, проходные комнаты, тесные прихожие. Квартир сделали три, за счет этого увеличили площадь кухонь, расширили прихожую, оборудовав ее встроенной мебелью, в каждой комнате появились отдельные входы, а балконы превратились в лоджии. В каждой кухне на первом этаже был сделан выход на дворовую территорию. Квартиры же на последнем этаже стали двухуровневыми за счет надстроенного мансардного этажа.

В соседнем панельном здании – по Осипенко, 19, – была применена другая конструктивная модель: корпус дома расширили, что позволило увеличить кухни до 8-10 м<sup>2</sup>, стали более просторными коридоры и прихожие, а комнаты – отдельными, пристроены лоджии. В результате надстройки мансарды дом увеличился на этаж, стал теплее, а главное – в нем стало на 16 квартир больше.



*Рисунок 1 – реновация здания по ул. Осипенко, 19, г. Минск*

### Опыт Германии.

Ресурсосбережению, а именно сбережению тепла отводится большое место в немецкой модели модернизации жилья. В целях теплосбережения луч-

ше всего начать санацию с утепления потолка подвала и чердачных перекрытий. Немецкие города практически перестали расти "вширь", новые дома обычно строятся на месте снесенных старых в целях экономии на инфраструктуре. Сейчас немецкие проектировщики задумываются над тем, чтобы "укоротить" крупнопанельные здания на два этажа, сделать их привлекательнее внешне и внутренне за счет перепланировки.



*Рисунок 2 – опыт реновации в Германии*

Панельные здания имеют ряд неудобств, которые нуждаются в устранении. Такие как:

- маленькие и часто нерациональные размеры кухонь и жилых комнат;
- узкие коридоры и лестничные клетки;
- низкие потолки;
- совмещённые санузлы;
- плохая шумоизоляция;

• недостаточная теплоизоляция — прохлада зимой и, наоборот — жара летом (особенно на верхних этажах);

• также в некоторых зданиях отсутствует технический этаж, из-за чего квартиры на 5-х этажах становятся практически непригодными для жизни.

В ходе работ по реконструкции жилых домов требуется осуществить следующие основные мероприятия:

- замена покрытия крыши;
- утепление технического этажа;
- утепление фасадов с декоративным оформлением здания;
- замена окон с решением задачи проветривания и рекуперации;
- утепление перекрытий подвала с его санацией;
- санация балконов;
- санация подъездов;
- монтаж лифта в наружной части здания (при отсутствии лифта);
- замена инженерных коммуникаций в здании;
- замена радиаторов с установкой на них термостатов и теплосчетчиков,
- установка квартирных счетчиков потребления воды;
- устройство теплового узла в подвале здания и коллективных счетчиков

расхода газа, воды;

- обустройство придомовой территории.

Конструкция.

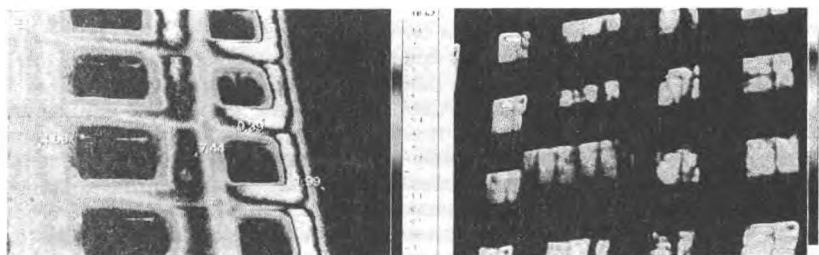
Специалисты разработали различные схемы реконструкции домов первых массовых серий индустриального домостроения: с расширением корпуса дома либо сохранением его габаритов, передачей нагрузки достраиваемой части на новый фундамент или на конструкции существующего здания. Есть проекты реконструкции, предполагающие расширение кухни и достройку лоджий. Мы же предлагаем разработку нескольких вариантов типовых металлоконструкций, которые будут поступать на стройку уже в готовом виде, защищённом от коррозии, и будут позволять увеличивать корпус здания, повышать условия проживания людей, а так же улучшать архитектурный облик, т.к. с помощью таких конструкций и отделки можно будет создать абсолютно разные фасады.

Энергоэффективность.

Уровень комфортности домов в итоге требуется в соответствии с европейским стандартом качества и безопасности жилых помещений. Показатели энергоэффективности должны быть обеспечены на уровне. Показатели теплотеря после утепления значительно ниже, чем до. Это обеспечивает значительную экономию на эксплуатации дома.

Панельные здания 50-х годов являются неотъемлемой частью архитектуры нашего города. Прошло более 50 лет с тех пор, как они вошли в эксплуатацию. Архитектурный облик зданий перестал соответствовать современной жизни.

В Беларуси существует большое количество заводов, таких как Гомельстекло, Молодеченский Завод Металлоконструкций и т.д., которые могли бы обеспечить современный облик зданий, используя белорусские строительные материалы.



**Рисунок 3 – тепловизионная съемка панельного здания до (слева) и после (справа) утепления**

### **Заключение**

Архитектура Бреста поражает своей красотой и уютностью. Застройка города необычайно комфортна за исключением устаревших панельных зданий, которые перестали соответствовать требованиям современного мира. И настало время разработать новые, энергоэффективные и комфортные для проживания проекты реновации зданий. В данной работе обостряется тема морального и физического износа панельных зданий 50-х годов XX века.

Задачей работы стало углубление знаний по реновации панельных зданий. Также был рассмотрен опыт Беларуси и зарубежных стран, предложены свои идеи и способы реновации, которые бы максимально подходили под условия белорусского климата, экономики и комфортного проживания людей.

Каждый человек достоин иметь уютное, чистое и тёплое жильё. Проекты реновации позволяют добиться этого настолько, насколько это возможно в условиях современного мира.

### **Список цитированных источников**

1. Демченко В., Ковалев В. Счетчики электроэнергии: назревшие проблемы и необходимые решения (статья), 2011 г.
2. Могиленко А., Павлюченко Д. Энергосбережение и энергоэффективность: важные аспекты мониторинга и анализа (статья). 2011 г.
3. Маклакова Т.Г., Нанасова С.М. Конструкции гражданских зданий. Москва, 2000 г.
4. Савельев Н. Реконструкция и модернизация основных средств: что необходимо учесть при проведении данных работ (статья), 2011 г.
5. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-1.04-206-2010 (02250) Ремонт, реконструкция и реставрация жилых и общественных зданий и сооружений.

УДК 691.544

**Суровщикова А.И., Беломесова К.Ю.**

**Научный руководитель: Пикула А.И.**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКЗОТЕРМИИ НАПРЯГАЮЩЕГО ЦЕМЕНТА**

**Введение.** Калориметрия - совокупность методов измерения тепловых эффектов, сопровождающих различные процессы и реакции. Калориметрия играет важную роль в физико-химическом изучении кинетики реакций, структурных и фазовых превращений. Высокие свойства современных бетонных смесей и бетонов во многом обеспечиваются применением индивидуальных и комплексных химических и минеральных добавок [1]. Калориметрия системно использу-

ется в химии и технологии цемента и бетона, особенно масштабно обращение к изотермической калориметрии для сравнительной оценки влияния рецептурного и температурного факторов на раннюю гидратацию цемента. Любые добавки меняют кинетику гидратации цемента, причем, в лучшую или худшую сторону. Ускорение или замедление темпа гидратации отражается на термокинетических и температурно-временных зависимостях. Простое качественное сравнение зависимостей влияния добавки позволяет приблизительно оценить возможность достижения технологического эффекта и её совместимость с цементом. Однако, до недавнего времени применение калориметрии в этих целях, носило в основном научно-исследовательский характер. Качество тепловой защиты определяет скорость и продолжительность остывания контрольного состава в зависимости от температуры окружающей среды и начальной температуры бетона. Чем меньше теплотери установки, тем более продолжительное время находится бетон при повышенных температурах [2].

**Теоретическая часть.** Одно из направлений калориметрии — термокинетика, которая, используя данные о тепловыделении цемента, позволяет получить много важной информации о конкретном цементе. С помощью калориметрии можно определить активность и степень гидратации цемента, влияние на цемент различных добавок, степени помола, хим состава и многое другое [1].

Проанализировав методики проведения опытов, можно достаточно уверенно констатировать, что описанные установки вряд ли могут быть использованы на рядовых предприятиях использующих цемент. В конечном итоге для потребителей важны не точные характеристики цемента в стандартных единицах, а лишь сравнительный анализ при различных условиях применения (особенно наличии и количестве добавок). Поэтому, с учетом изложенного выше, была применена самая простая установка — своеобразный примитивный калориметр, отличный от классических калориметров. Принцип проведения испытаний примерно аналогичен определению теплоты гидратации цемента термосным методом. Однако от классической установки остается только один принцип — измерение кинетики изменения температуры, вначале обычно возрастающей, а затем плавно снижающейся.

**Экспериментальная часть.** Основной целью работы является исследование кинетики тепловыделения напрягающего цемента с целью выбора его оптимального состава.

Измеряемые тепловые эффекты прямо или косвенно связаны с рядом свойств твердеющих в присутствии добавок цементов и бетонов. Это — сроки схватывания, темп нарастания прочности, сохранность бетонной смеси, В / Ц и др., регламентируемые нормами EN 206 и EN 934.

Для проведения экспериментов предварительно было определено процентное содержание добавок для получения напрягающего цемента. На основе подбора составлено оптимальное В/Ц для всех составов цементных смесей, обеспечивающую максимальную величину свободного расширения. Процентное содержание добавки к портландцементу представлены в таблице 1.

Таблица 1- Процентное содержание добавки к портландцементу

Обозначение состава	%, ПЦ	Добавки	
		%, Гипс	%, Метакаолин
ПЦ	100	-	-
80	80	10	10
70	70	15	15
60	60	20	20

Основным принципом действия калориметров является измерение и сравнение температуры твердеющих растворов цементов. Для учета колебания температуры окружающей среды в установку был уложен опорный образец. Температура опорного образца при расчетах показывает тепловой эффект.

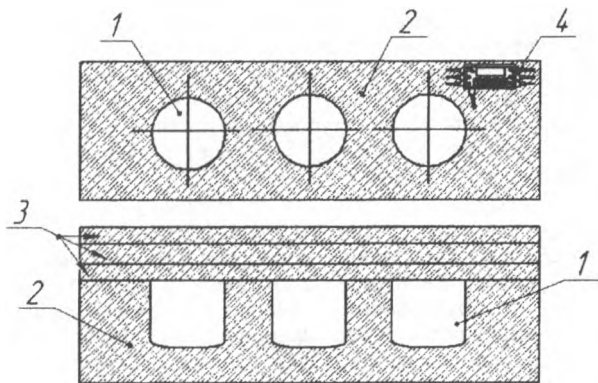
Подготовка смесей для исследования осуществляли на бетоносмесительной установке в соответствии с СТБ 1335-2002.

**Ход работы:** Цементное тесто помещается в полиэтиленовые мешочки, которые устанавливаются в специальные гнезда в основании установки (термокассеты). Само основание и крышка выполнены из пенопласта низкой плотности. Это обеспечивает малые тепловые потери в окружающую среду и получение по этой причине ярко выраженного эффекта саморазогрева твердеющего цементного теста, определяемого количеством теплоты, выделенной при экзотермических реакциях в замкнутом объеме.

**Установка:** В экспериментальных опытах использовалась недорогая и даже некалиброванная установка, а также использовался термосный метод исследования.

Основными элементами установки являются каркас стенок и днища, съемная крышка, датчики. Изготовленная из пенопласта имеет прямоугольную форму (рисунок 1). Каркас установки 2 для уменьшения тепловых потерь сделаны из пенопласта, коэффициент теплопроводности которого составляет  $0,04 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{К)}$ . В основе продельваются три ячейки 1 для исследований в последующем образцов. Крышка 3 имеет три части созданных из того же материала, не снабженная никакими затворами. Для получения данных о экзотермии используется микропроцессорный четырех каналный блок 4 считывания и сохранения результатов с памятью на 32200 единичных измерений температуры.

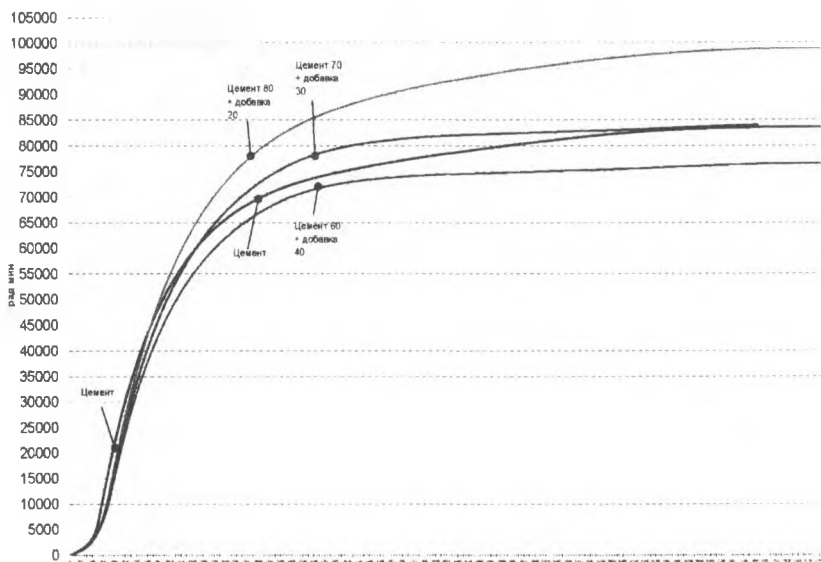
Некалиброванная установка представлена на рисунке 1.



1 – ячейки; 2 – основа из пенопласта; 3 – крышка; 4 – датчик.

*Рисунок 1 – Установка использованная для определения экзотермии*

Результаты экспериментального определения тепловыделения смесей выражены в виде графика зависимости температуры от времени. Изменение интегральной суммы (площади подграфика) для образцов с различным соотношением добавки и цемента представлен на рисунке 2.



**Рисунок 2 – График изменения интегральной суммы (площади подграфика) во времени (количество полученных градусо-минут от времени)**

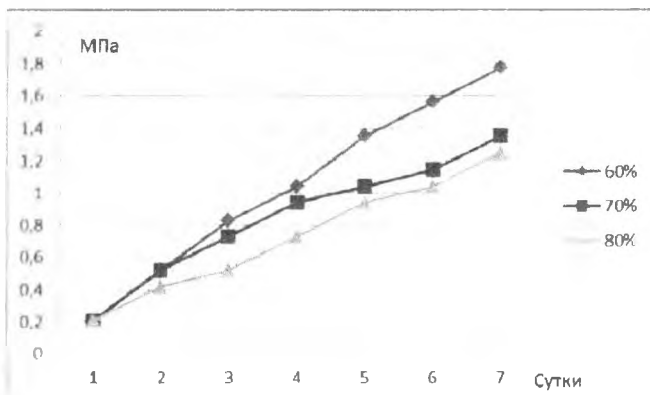
**Анализ результатов графиков (рис.1 и рис.2).** Образец с содержанием добавки 40% от массы цемента характеризуется наименьшим суммарным экзотермическим эффектом и наибольшим эффектом расширения с самонапряжением, что обусловлено повышенным содержанием гипса в системе, уменьшением количества более экзотермичных реакций расширения по сравнению с реакциями обычного структурообразования на начальном этапе. При этом прочность нарастает медленнее, что дает большую возможность для проявлений внешних деформаций расширения.

Образец с содержанием добавки 30% от массы цемента характеризуется суммарным экзотермическим эффектом близким к цементу без добавок, более высоким через 25 часов твердения и полностью равным цементу через 120 и далее часов твердения. Характеризуется средним эффектом расширения и самонапряжения, что обусловлено примерно одинаковой скоростью и количеством конкурирующих реакций расширения и структурообразования.

Образец с содержанием добавки 20% от массы цемента характеризуется наибольшим суммарным экзотермическим эффектом, и наименьшим эффектом расширения и самонапряжения, что обусловлено большей скоростью и количеством более экзотермичных реакций расширения над процессами структурообразования. При этом прочность нарастает быстрее, что дает меньшую возможность для проявлений внешних деформаций расширения.

Для подтверждения результатов экзотермии данные смеси были проведены на самонапряжение в динамометрических кольцах. Результаты самонапряжения смесей представлены на рисунке 3.





**Рисунок 3 – Результаты самоупреждения**

Экспериментальные исследования показали, что самоупреждение в динамометрических кольцах к 7 суткам составили: состав с 80 % цемента – 1,25 МПа, состав с 70 % цемента – 1,35 МПа и состав с 60 % цемента – 1,77 МПа.

**Заключение.** Полученные данные уточняют аспекты кинетики гидратации расширяющихся цементов и подтверждают правильность предварительного выбора дозировки добавки гипса и метакрилина в исследованных цементах на уровне 20% для получения наиболее прочной структуры, которая набирает прочность быстрее чем в других составах, сохраняя более высокое значение модуля упругости бетона. Однако для повышения эффективности использования добавки и более точной её привязки к конкретному цементу необходимо исследование составов с дозировкой добавки от 10 до 25 % с шагом в 1%.

Использованная простая, недорогая и даже некалиброванная установка и метод анализа являются действенным инструментом для сравнительного анализа эффективности использования добавок в любых цементных системах и должны применяться в лабораториях всех строительных предприятий.

В нашей работе были проведены исследования, результаты которых показывают, что большое влияние на перекристаллизацию гидроалюминатов кальция из гексагональной формы в кубическую является пересыщение по  $\text{CaO}$  поровой жидкости цементного камня. Это способствует кристаллизации  $\text{C}_3\text{AH}_6$ . Соответственно соотношение количества гексагональных гидроалюминатов кальция к кубическому гидроалюминату кальция в цементном камне все время меняется.

При гидратации цемента количество образующегося  $\text{C}_3\text{AH}_6$  монотонно увеличивается, соответственно соотношение  $\text{C}/\text{C}_1$  достигает максимальной величины в 3 сутки, затем снижается в последние сроки гидратации за счет увеличения количества  $\text{C}_3\text{AH}_6$ .

#### Список цитированных источников

1. Кравченко И. В. Расширяющиеся цементы / И.В. Кравченко. - М., 1962.
2. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев Т.В. Физико-химические методы исследования вяжущих веществ / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, Т.В. Савельев. - М., 1981.
3. Ушеров-Маршак А.В. Калориметрия цемента и бетона- избранные труды / А.В. Ушеров-Маршак. - Харьков, Факт, 2002. - 183 с.

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА, АРМИРОВАННОГО СТАЛЬНОЙ И БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРОЙ**

### **Введение.**

Впервые идея дисперсного армирования бетона была высказана в 1909 году Некрасовым В.Д., которым были проведены опыты по армированию бетона рубленым канатом. Этот опыт не имел практического применения в строительстве, так как для достижения необходимой прочности требовался большой расход металла, чем при направленном стрежневом армировании.

Мировая практика строительства выявила фибробетон как один из перспективных строительных материалов XXI века. Опыт таких развитых стран, как США, Великобритания, Япония, Германия, Италия, Франция и Австралия [1], убедительно показал технико-экономическую эффективность применения фибробетона в строительных конструкциях и сооружениях.

**Фибробетон** – композиционный материал на основе гидравлического вяжущего, в которое интегрированы различного рода волокна (фибра).

**Сталефибробетон** – это строительный материал, состоящий из бетона (матрица) и стальной фибры (армирующие волокна). В результате равномерного хаотичного введения стальной фибры в бетонную матрицу сталефибробетон приобретает новые свойства, существенно отличающие его как от бетона, так и от железобетона. Основная конструктивная идея сталефибробетона состоит в том, что хаотически расположенные стальные волокна являются новым видом армирования для структуры бетона на этапе до образования трещин и на этапе работы материала с трещинами, тем самым приобретая новые конструктивные свойства [2].

В развитии науки о сталефибробетоне большой вклад внести ученые Австралии, Австрии, Бельгии, Германии, Испании, Польши, США, ЮАР, Япония и других стран. Из них необходимо отметить В. Gordon, I.A. Mandel, W.F. Chen, B. Kelly, D.R. Lankard, G. Ruffert, J. Vodichka и другие [3-4].

В России основу знаний о сталефибробетоне сформировали Ю.М. Баженов, И.В. Волков, В.П. Вылекжанин, Л.Г. Курбатов, И.А. Лобанов, А.П. Павлов, Ю.В. Пухаренко, Ф.Н. Рабинович, В.П. Романов, К.В. Талантова, О.Н. Хегай и другие [5-6].

**Базальтофибробетон** – композиционный материал на основе гидравлического вяжущего с мелкозернистым наполнителем (матрицы), дисперсно-армированной грубым базальтовым волокном.

Исследования базальтового волокна (БВ) выполнялись зарубежными и отечественными организациями, лабораториями, такими как Лаборатория базальтовых волокон Института материаловедения АН Украины, НИИЖБ, ЦНИИПромзданий, ЛатНИИСтроительства, АрмНИИСВ, BasaltexMasureelGroup, Department of Textiles (Ghent University Belgium), PennState (США), Technische Universität Dresden и др.

Над созданием дисперсно-армированных бетонов и конструкций на их основе, теорий расчета и проектирования фибробетонных конструкций работали и работают отечественные и зарубежные ученые: В.В. Бабков, Ю.М. Баженов, О.Я. Берг, Г.П. Бердичевский, В.М. Бондаренко, И.В. Волков, А.А. Гвоздев, Ю.В. Зайцев, др. [7].

### Методика экспериментального исследования

Для экспериментального исследования свойств напрягающего цемента и фибробетона армированные стальной и базальтовой фибры была разработана программа испытаний. Для этого было забетонировано 114 образцов из них: 4 образца для смеси; 35 образцов бетона кубических и призматических образцов с разным размером; 33 сталефибробетонных образцов кубических и призматических форм; 42 базальтофибробетонных образцов кубических и призматических форм с разными размерами.

Образцы имеют следующую маркировку: бетон без содержания фибры: КДК; сталефибробетонные образцы: НСК 1-3, С 1-3; базальтофибробетонные образцы: КБК 1-3, Б 1-3. Где 1,2,3 это номер концентрации фибры. Содержание стальной анкерной фибры составило: 1 концентрация  $20 \text{ кг/м}^3$ ; 2 концентрация  $40 \text{ кг/м}^3$ ; 3 концентрация  $60 \text{ кг/м}^3$ . Содержание базальтовой фибры составило: 1 концентрация  $1 \text{ кг/м}^3$ ; 2 концентрация  $1,5 \text{ кг/м}^3$ ; 3 концентрация  $2 \text{ кг/м}^3$ .

### Характеристика используемых материалов

В качестве вяжущего для напрягающего бетона использован напрягающий цемент (НЦ) полученный в лабораторных условиях при помоле в шаровой мельнице. В состав которого входит ПЦ 500 Д0 класса 42,5 по ГОСТ 10178-85 и расширяющая добавка, представленная высокоактивным метакатионом (ВКМ) и гипсом по ГОСТ 125-79.

Приготовление напрягающего цемента (НЦ) было выполнено в следующей последовательности:

1. На первом этапе был произведен домол ПЦ в течение 5 минут в шаровой мельнице, с целью активации (повышения прочности).

2. Второй этап включал в себя совместный помол в мельнице ПЦ с расширяющей добавкой в течение 5 минут.

Процентное содержание компонентов представлено в таблице 1.

Таблица 1- Процентное содержание состава вяжущего

Обозначение	ПЦ500 Д0, %	Метакатион, %	Гипс, %
НЦ	80	10	10

В качестве инертных заполнителей использовали: - гранитный щебень фракции 5-10 мм по ГОСТ 8267. Щебень прошел 3 этапа подготовки:

1. Промывка щебня от глинистых и пылевидных частиц;

2. Сушка при  $t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$  в сушильном шкафу;

3. Рассев щебня и построение кривой.

– кварцевый песок по ГОСТ 8736 прошел 2 этапа подготовки:

1. Сушка при  $t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$  в сушильном шкафу;

2. Рассев песка и построение кривой.

По результатам отсева песка был получен  $M_{кр} = 2,1$ . Вода затворения, соответствующая требованиям EN 1008:2002.

В качестве дисперсного армирующего компонента применена фибра стальная анкерного типа СТБ EN 14889-1-2009 и базальтовая фибра СТБ EN 14889-2-2009.

### Изготовление образцов и их хранение

Для определения величины самонапряжения и линейное расширения напрягающего цемента были заформованы динамометрические кольца для образцов-балочек с размером  $31,5 \times 31,5 \times 95$  мм, а так же динамометрические кондуктора для образцов – балочек с размерами  $40 \times 40 \times 160$  мм. Соотношение Ц:П составило 1:1 с В/Ц  $0,295 \text{ мл}$ . Формы, применяемые для определения важных показателей напрягающего бетона:

Напрягающий бетон:

– кубы с размерами ребра 100 мм – определение предела прочности на сжатие;

– кондуктора с размерами 100×100×400 мм – определение величины самонапряжения.

Напрягающий бетон со стальной фиброй:

– кубы с размерами ребра 100 мм – определение предела прочности на сжатие;

– кондуктора с размерами 100×100×400 мм – определение величины самонапряжения.

Напрягающий бетон с базальтовой фиброй:

– кубы с размерами ребра 100 мм – определение предела прочности на сжатие;

– призмы с размерами 50×50×200 мм – определение предела прочности на растяжение при изгибе, а так же величины линейного расширения;

– кондуктора с размерами 50×50×200 мм – определение величины самонапряжения.

Формование осуществляли следующим образом: отвешенные сырьевые материалы с точностью до грамма были перемешаны в следующей последовательности: в мешалку с водой в течении 30 секунд всыпали расширяющийся цемент, после чего в течении 30 секунд происходило тщательное перемешивание цемента с водой на слабой скорости. После в течении 30 секунд на большой скорости всыпали кварцевый песок, который был предварительно просушен. В течении 60 секунд происходило смешивание смеси. По истечении времени мешалка была остановлена на 90 секунд, что позволило со стенок мешалки собрать материал, не смешавшийся в единое целое. Конечной стадией в течении 120 секунд происходило конечное перемешивание.

Наружные и внутренние поверхности формы и колец перед формованием тщательно были очищены от приставшего раствора металлическим скребком.

С динамометрических колец были сняты нулевые отсчеты перед формованием, для чего был использован измерительный штатив с индикатором часового типа с точностью 0,01мм, после чего формы были собраны и смазаны.

Укладку формовочной массы производили послойно 2 этапа. На 1 этапе уложили первый слой, занимающий 1/2 объема формы, для его уплотнения было произведено 30 ударов на встряхивающем столике. Укладка и уплотнение второго слоя была произведена аналогично первому слою.

Образцы – балочки в динамометрических кольцах были заглажены и укрыты полиэтиленовой пленкой.

Распалубку образцов производили через сутки воздушного твердения, после чего были сняты первые результаты по самонапряжению. Образцы после измерения были помещены в камеру нормально- влажностного твердения с влажностью 95±5% и температурой окружающего воздуха 20±2°C.

Для определения линейного расширения были заформованы образцы балочки размерами 40×40×160 мм с пластинами, методы испытаний этих образцов выполнены в соответствии с СТБ 1335-2002.

Перемешивание, уплотнение формовочной массы, а также распалубку образцов и хранение производили аналогично образцов в динамометрических кольцах.

По истечении заданного промежутка времени, а именно 7,14 и 28 суток бетонные образцы подвергались испытанию на прочность при сжатии-изгибе,

исключая образцы на самоупрежение и линейное расширение, значение которых фиксировались каждые сутки в течении 28 суток.

Для определения прочности на растяжение при изгибе и прочности на сжатие использован гидравлический пресс марки controls automax. Пресс controls automax является универсальным лабораторным прессом, позволяющий проводить испытания в условиях контроля скорости сжатия и изгиба, а так же нагрузки на образец. Оснащен микропроцессорным блоком управления, что позволяет выводить результаты испытания и запоминать их.

В качестве контрольного состава бетона были приняты следующие соотношения сырьевых материалов: Ц:П:Щ = 1:1:1,76 с В/Ц 0,41.

Этапы изготовления бетонных образцов:

1. Первый этап включает подготовку (отвешивание) сырьевых материалов.
2. Вторым этапом осуществлено смешивание сухих компонентов в бетономесительной установке, при перемешивании в течении определенного времени.
3. Заключительный этап изготовления бетонных образцов – это введение воды затворения и последующее перемешивание в течение некоторого времени.

Выгрузка осуществлялась при опрокидывании смесителя в подготовленную тару для бетонной смеси.

Очищенные и смазанные формы кондукторов размерами 10×10×40 см, были заранее подготовлены перед началом бетонирования. С каждого кондуктора были сняты и записаны результаты по самоупрежению без содержания бетона с точностью до 0,01мм.

После укладки бетонной смеси производили уплотнение глубинным вибратором. Затем образцы были заглажены и укрыты полиэтиленовой пленкой.

По истечении заданного промежутка времени, а именно 7,14 и 28 суток бетонные образцы подвергались испытанию на прочность при сжатии-изгибе, исключая образцы на самоупрежение и линейное расширение, значение которых фиксировались каждые сутки в течении 28 суток.

Бетонирование образцов с содержанием стальной и базальтовой фибры проводилось в четыре этапа.

Этапы изготовления бетонных образцов, армированных стальной либо базальтовой фиброй:

1. Первый этап включает подготовку (отвешивание) сырьевых материалов.
2. Вторым этапом осуществлено смешивание сухих компонентов в бетономесительной установке, при перемешивании в течение определенного времени.
3. На третьем этапе в тщательно перемешанную сухую смесь Ц+П+Щ вводили армирующий компонент ( стальная/ базальтовая фибра).
4. Заключительный этап изготовления бетонных образцов – это введение воды затворения и последующее перемешивание в течение некоторого времени.

#### **Результаты испытаний**

##### **Результаты испытаний напрягающего цемента**

Потребность В/Ц отношения были определены по расплыву конуса на естяживающем столике СТБ EN 196-3-2000. Расплыв смеси составил 12 см.

Определение срока схватывания расширяющегося цемента осуществлялась на приборе Вика. И составило: начало схватывания 36 минут, окончание схватывания 3 часа 24 минуты.

Фиксирование результатов самоупреждения в динамометрических кольцах осуществляли в течении 28 суток. Для этого были забетонированы два контрольных образца. самоупреждение в возрасте 28 суток составила 3,36 МПа

Линейное расширение балочек размерами 4×4×16см измерялось каждые сутки в одно и то же время, после чего балочки были вновь помещены в камеру нормально- влажностного твердения с влажностью 95±5% и температурой окружающего воздуха 20±2°С. Величина линейного расширения составила 0,511%. Величина самоупреждения в возрасте 14 суток составила 0,5 МПа.

#### **Результаты испытания бетона со стальной фиброй**

Для формирования сталефибробетонных образцов была разработана программа испытаний. Для этого было забетонировано: с первой концентрацией стальной анкерной фибры на 1м<sup>3</sup> - 20 кг – 2 кондуктора размерами 10×10×40 см; 9 кубов с размерами 10×10×10 см. Со второй концентрацией стальной анкерной фибры на 1м<sup>3</sup> - 40 кг – 2 кондуктора размерами 10×10×40 см; 9 кубов с размерами 10×10×10 см. С третьей концентрацией стальной анкерной фибры на 1м<sup>3</sup> - 60 кг – 2 кондуктора размерами 10×10×40 см; 9 кубов с размерами 10×10×10 см.

Результаты самоупреждения сталефибробетона в возрасте 7 суток: с первой концентрацией составили 0,325 МПа; со второй концентрацией составили 0,35 МПа; с третьей концентрацией составили 0,35 МПа.

При стабилизации самоупреждения, кондуктора были распалублены и испытаны на изгиб. Результаты прочности на изгиб составили 6,85 МПа

В возрасте 7,14 и 28 суток кубы каждой концентрации были испытаны на прочность при сжатии. Результаты испытаний в возрасте 7 суток: с первой концентрацией 27,72 МПа; со второй концентрацией 27,03 МПа; с третьей концентрацией 29,6 МПа

#### **Результаты испытания бетона с базальтовой фиброй**

Для формирования базальтофибробетонных образцов была разработана программа испытаний. Для этого было забетонировано: с первой концентрации базальтовой фибры на 1м<sup>3</sup> - 1 кг– 2 кондуктора размерами 5×5×20 см; 9 кубов с размерами 10×10×10 см; 3 призмы размерами 5×5×20 см. Со второй концентрации базальтовой фибры на 1м<sup>3</sup> - 1,5 кг– 2 кондуктора размерами 5×5×20 см; 9 кубов с размерами 10×10×10 см; 3 призмы размерами 5×5×20 см. С третьей концентрации базальтовой фибры на 1м<sup>3</sup> - 3кг– 2 кондуктора размерами 5×5×20 см; 9 кубов с размерами 10×10×10 см; 3 призмы размерами 5×5×20 см.

Результаты самоупреждения базальтофибробетона в возрасте 10 суток с первой концентрацией составили 0,5 МПа; со второй концентрацией составили 0,55 МПа; с третьей концентрацией составили 0,55 МПа.

При стабилизации самоупреждения, кондуктора были распалублены и испытаны на изгиб. Результаты прочности на изгиб составили 6,49 МПа.

В возрасте 7,14 и 28 суток кубы каждой концентрации были испытаны на прочность при сжатии. Результаты испытаний в возрасте 7 суток: с первой концентрацией 27,5 МПа; со второй концентрацией 24,23 МПа; с третьей концентрацией 26,27 МПа.

#### **Заключение**

В данной исследовательской работе акцент был поставлен на получении бетона на основе напрягающего цемента, в качестве варьируемого фактора при проведении принималась концентрация армирующего компонента (стальной и базальтовой фибры).

Опытным путем было получено самоупреждение напрягающего цемента, которое составило 3,36 МПа в возрасте 28 суток. А так же линейное расширение образцов – балочек в возрасте 28 суток составило 0,511%.

В результате исследований были получены результаты увеличения прочности при растяжении на изгиб, по сравнению с обычным напрягающим бетоном, не армированным волокнами фибры, составили:

- сталефибробетон с концентрацией 20 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона 14,7%.
- базальтофибробетон с концентрацией 1 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона 10%.

Рост показателей прочности образцов на сжатие и изгиб объясняется тем, что введение в смесь базальтовых волокон способствует увеличению сцепления с цементно-песчаной матрицей.

#### Список цитированных источников

1. BernhardMaidl. Steel Fiber Reinforced Concrete. Wiley: Ernst & Sohn, 1995. 292p.
2. Beaudoin J.J. Handbook of Fiber- Reinforced Concrete: Principles, Properties, Developments and Applications (Building Materials Science). Noyes: William Andrew, 1990. 194p.
3. Brandt A.M. Cement- Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance. London: Spon, 2009. 544p.
4. Баженов Ю.М Технология бетона /Ю.М.Баженов - М : ACB, 2003. 500с
5. Рабинович, Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны: научное издание / Ф.Н. Рабинович. – М.: Строй-издат, 1989 – 176 с.
6. Пухаренко Ю.В. Высокопрочный сталефибробетон / Ю.В Пухаренко, В Ю Голубев // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 9. – С. 40 – 41.

УДК 711.25: 728.83 (476.7)

*Талагаева Н.А., Гетман У.А.*

*Научный руководитель: доцент Жминько М.М.*

### ОСОБЕННОСТИ И ВАРИАНТЫ РЕСТАВРАЦИИ УСАДЕБНОГО ДОМА НЕМЦЕВИЧЕЙ В Д.СКОКИ

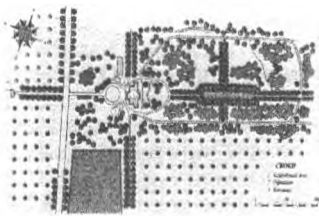
Целью нашей работы является проведение исторического анализа рассматриваемого объекта, изучение особенностей и методов реставрации усадебного дома в д.Скоки, а также проведение оценки его состояния на сегодняшний день.

#### Основная часть

Недалеко от города Бреста находится небольшая деревня Скоки. Удивительно то, что в ней сохранилась усадьба XVIII века, принадлежавшая когда-то роду Немцевичей. Усадьба в Скоках имеет мемориальное значение. Здесь жил классик польской литературы эпохи Просвещения, творец национальной идеи Польши, общественный деятель – Юлиан Урсын-Немцевич, один из авторов демократической Конституции от 3 мая 1791 г., участник освободительного движения, сподвижник Тадеуша Костюшко в восстании 1794 г., участник восстания 1830-1831 гг.



*Рисунок 1 – усадьба  
в настоящее время*



*Рисунок 2 – планировочное  
решение усадьбы*

Первоначально на месте усадьбы стоял одноэтажный дом, который построил отец Юлиана в XVII в. Вскоре старый дом был разобран, и началось строительство нового дома. Новая усадьба, частично дошедшая до наших дней, сформирована в формах уходящего барокко. Она имеет симметрично-осевое построение и в плане вытянутый прямоугольник площадью около 5 га. На основной планировочной оси располагались все элементы композиции. Завершалась ось перспективой на водоем, а с противоположной (парадной) стороны был построен костел с органом, который стал местом фамильных захоронений. Центром композиции являлся двухэтажный каменный усадебный дом, построенный по проекту неизвестного архитектора. Наиболее верное представление о первоначальном облике здания дает рисунок Н. Орды, выполненный в 1860-е годы. Здание имеет высокую ломаную четырехскатную крышу с лучковыми люкарнами, фланкировано альежежами с трехскатными крышами, которые первоначально завершались фигурными куполами — барочными шлемами. Фасады с двух сторон выделены балконами на четырех пилонах. Декор здания скромный: пилястры, сандрики и наличники окон, тяги, угловые лопатки.

К дому вела аллея. С восточной стороны за конюшней находился небольшой хозяйственный двор с колодцем в центре. За домом были две невысокие террасы. Прогулочный маршрут кольцевого типа, проходил вдоль вала и небольшого канала, за которым рос сад. В уединенной части парка находилась беседка, которая открывала живописные окрестности.

Сведений об интерьерах дома очень мало. По воспоминаниям Юлиана Немцевича, первый этаж имел много комнат, расположенных вдоль двух коридоров. На втором этаже имелось два помещения и балльный зал с галереей для оркестра. В альежах хранились семейные ценности и архив.

Усадебный дом с официной (справа) и конюшней (слева) образовывал парадный двор с традиционным кругом в центре. Судя по фотографии примерно 1914 г., он имел идеальную геометрическую форму. Боковые одноэтажные флигели были с высокими крышами.



**Рисунок 3 – фото 1914 г**

Двор, по воспоминаниям Юлиана, окружала Дубрава, позднее его отец проложил улицы. В этой дубраве стояла колонна (дошла до наших дней) со скульптурой св. Рафаила, высокое центрическое сооружение на квадратном, с серзанными углами, высоком кирпичном постаменте. Известно, что Рафаил, один из семи ангелов-архангелов, Марцеллий, переживший много горя в связи со смертью детей, верил Рафаилу и вознес его как надежного хранителя нового семейного очага. Башня служит ориентиром в определении расположения старого двора Немцевичей.

Скоковское имение в собственности семьи Немцевичей оставалось до сентября 1939 г. (до начала 2 мировой войны). Во время первой мировой войны почти на 2 года дворец стал ставкой командующего Восточным германским фронтом принца Баварского Леопольда. Здесь 15 декабря 1917 г. было подписано военное перемирие, а через 2 дня – первое организационное заседание по проведению переговоров о заключении мира, который был, затем,



подписан 3 марта 1918г. в Брестской крепости, в Белом Дворце. В это время пострадала вся усадьба. Офисина и конюшня были разрушены. После второй мировой войны не стало фамильной каплицы, построенной в ста метрах с противоположной стороны въездной браны. Деревянный костел-усыпальница, стоявший напротив дома через дорогу (не сохранился) завершал парадную часть комплекса.

В 1997г. проектная организация «Брестреставрацыйапроект» выполнила проектно-сметную документацию на реставрацию усадебного дома, научным руководителем которого был Казаков В.Н., архитектор Жминько М.М., конструктор Панасюк В.А. За основу был взят рисунок Наполеона Орды. Были проведены комплексные научные изыскания (КНИ). По проекту планировалось восстановить утраченные колонны террас. В проекте была изменена форма крыши в соответствии с имеющимся рисунком Н.Орды и фото довоенного периода. В связи с отсутствием финансирования проект был не реализован.

В 2006 году проектная организация «Брестреставрацыйапроект» выполнила корректировку проекта. Дворец начал возрождаться. Реставрационные работы на объекте проводит ОАО «Брестреставрацыйа». На основании вновь обнаруженных материалов было принято решение по воссозданию куполов на альежах. Архитектурный облик куполов был выполнен на основании аналогов существующих исторических объектов того же периода, выполненных в том же стиле. В настоящее время были проведены археологические раскопки и были раскрыты фундаменты конюшни (частично, а также часть входной группы). В 2010 г Постановлением Брестского райисполкома определен статус восстановленного объекта – Историко-мемориальный музей «Усадьба Немцевичей».

На территории внутреннего двора деревья переросли и приняли экзотический вид, западный ряд почти утрачен. Кустарники разрослись, группы местами сомкнулись, и бывшие бортики приняли вид одичавших насаждений с разреженным древостоем старых деревьев, подлеском и подростом. В связи с застройкой школы недопустимо изменена парадная часть усадьбы, залита асфальтом, засажена березами. Разрушается парк. К усадьбе подступали ступеньки без соблюдения охранных зон. В настоящее время разработаны охранные зоны. В наше время усадьба включает усадебный дом и видоизмененный парк, а также парадную часть с завершенным благоустройством.

#### **Заключение**

Усадьба Немцевичей, частично дошедшая до наших дней, реставрирована. На сегодняшний день она является историко-культурной ценностью Республики Беларусь. Здание усадьбы выполняет функцию музея. Конюшня и офисина разрушены и не подлежат восстановлению. На сегодняшний день реставрационные работы завершены. При ближайшей возможности финансирования планируется реставрация парка.

#### **Список цитированных источников**

1. Федорук А.Т. Старинные усадьбы Берестейщины. Мн. БЭ. 2004
2. Несцярчук Л.М. Замкі, палацы, паркі Берасцейшчыны Х-XX стагоддзяў. – Мн.: БЕЛТА, 2002
3. Niemcewicz J.U. Pamietniki czasow moich. Warszawa, 1957E. Орловский «Гродненская старина» т.1, Гродно, 1910, стр.267
4. Гладышчук Анатолий. Нямцевічы. Сапраўдныя гісторыі. Мн., «Літаратура і мастацтва». 2009.

УДК 691.51

*Тур А.В.*

*Научные руководители: доцент, к.х.н. Н.М Голуб, доцент, к.т.н.  
Э.А. Тур*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ И ОКРАСОЧНЫХ СОСТАВОВ РЕСТАВРИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПО УЛ. СОВЕТСКОЙ В Г. БРЕСТЕ (СОВЕТСКАЯ, 43-45)**

Основным направлением развития современного строительства является повышение технологичности и качества вновь возводимых объектов. Однако постоянное совершенствование методов строительных работ не снимает одну из важнейших задач – сохранения архитектурного наследия прошлого с учётом старых технологий. Научный подход к вопросам реставрации памятников культуры в Республике Беларусь позволяет сохранить историко-культурное наследие Республики Беларусь.

Реставрация объекта, представляющего историко-культурную ценность, должна опираться на многосторонние комплексные исследования. Комплексные лабораторные исследования отобранных образцов (фрагментов фасадов, штукатурки и т.д.) включают в себя: изучение химического состава раствора с определением процентного соотношения основных компонентов; granulometricкий анализ, выявляющий путём просеивания сквозь серию сит с разными ячейками распределение заполнителя минерального строительного раствора по фракциям; петрографический анализ – изучение под микроскопом шлифов раствора и других материалов [1].

Количественные соотношения компонентов раствора определяются в основном химическим анализом. Но возможны приближённые подсчёты при микроскопическом изучении образцов. Гораздо большие результаты даёт изучение качественного состава. Наличие тех или иных незначительных, но характерных примесей, особенности строения зёрен песка могут служить свидетельством не только технологических различий, но и использования материалов, добытых в разных карьерах. Микроскопические исследования дают важные результаты при изучении не только растворов, но и окрасочных составов.

Окончательный вывод относительно состава исследуемых материалов может быть сделан лишь на основании всего комплекса проводимых анализов. Правильность полученных результатов во многом зависит от тщательности отбора образцов, которые должны изыматься с разных участков здания или сооружения, во избежание случайных ошибок [2].

Целью данной работы являлось проведение физико-химических исследований минеральных строительных растворов и окрасочных составов реставрируемых объектов по ул. Советской, 43-45 в г. Бресте и разработка рекомендаций по проведению реставрационных работ.

Здание по ул. Советской, 43-45, построенное по проекту известного брестского архитектора межвоенного периода Николая Синкевича, представляло собой близкий к прямоугольнику в плане, двухэтажный каменный объём, крытый двухскатной кровлей с пристроенными со стороны дворового фасада лестничными клетками. Главный фасад расчленен на три уравновешенные, почти симметричные части. Окна второго этажа объединены с витражами-витринами первого этажа нишами. Таким образом, каждая часть главного фасада разделена на три части. Пространство между окнами второго этажа и

витринами первого имеет ниши с геометрическим орнаментом. Ворота сквозного проезда во внутренний двор здания также имеют геометрический рисунок. Балконы на главном фасаде в проекте отсутствуют, возможно, они появились несколько позже. Здание носит черты переходного периода от «утилитарного» или «рационального» классицизма к конструктивизму. После национализации здания в 1940 году объект использовался: первый этаж - торговые точки и предприятия сферы услуг, второй этаж – под жилье. С 2007 года здание являлось историко-культурной ценностью «без категории» в составе исторического центра Бреста категории «2» [3].

Анализ образцов выполнялся по стандартным методикам выполнения измерений. Для анализа представленных образцов применяли микрохимический, гранулометрический и петрографический методы исследований [1, 2, 4]. Основными задачами петрографических исследований являлись: диагностика минеральных материалов и определение количественно-минералогического и химического состава растворов. Состав минералов определяли иммерсионным методом (определения показателей преломления), основанном на погружении зерен минералов в различные жидкости и сравнении показателей преломления минерала и жидкости.

Гранулометрический состав наполнителей строительных растворов определяли ситовым методом. Он характеризуется содержанием в растворе зерен различной крупности и определяется просеиванием средней пробы через сита. Набор стандартных сит для просеивания песка включал сита с отверстиями 10; 5; 2,5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,63; 0,315 и 0,16 мм. Сита с отверстиями 10 и 5 мм служат для выявления засоренности песка зернами гравия или щебня.

Пробу сухого раствора, разрушенного вручную или при помощи лабораторного пресса, массой 100 г высыпали на сито с отверстиями 2,5 мм, под которое располагали остальные сита (в порядке последовательного уменьшения размеров отверстий) и поддон. После просеивания раствора через сита ручным встряхиванием определяли частные остатки на ситах, выражаемые в процентах к общей массе пробы, и полные остатки, которые получились бы на каждом сите, если бы всю пробу раствора просеивали только сквозь него. Полные остатки находили суммированием частных остатков на данном сите и всех ситах с более крупными отверстиями. Сквозь мелкое сито с отверстиями 0,16 мм проходило не более 5% массы пробы.

Цвета лакокрасочных покрытий и отделочных составов указаны по современному каталогу «FASSADE A1 CAPAROL», используемый в настоящее время архитекторами, и каталогу «Histolith CAPAROL» (специализированный каталог реставрационных красок). Цвет покрытия определяли путём визуального сравнения образца с эталонной типографской выкраской [4]. Для устранения метамерии определение цвета проводили при рассеянном естественном освещении.

Определение водородного показателя водной вытяжки растворов осуществлялось потенциометрическим методом при помощи pH-метра HANNA HI 98127. Метод основан на изменении разности потенциалов, возникающих на границах между внешней поверхностью стеклянной мембраны электрода и исследуемым раствором, с одной стороны и внутренней поверхностью мембраны и стандартным раствором с другой стороны.

Были исследованы штукатурные и затирочные известково-цементно-песчаные и известково-песчаные растворы. В результате проведенных исследо-

ваний выявлено, что соответствующие растворы практически не отличались соотношением компонентов и составом.

Лицевая поверхность образцов №1 и №2 (первая секция) окрашена лакокрасочным составом блекло-зеленого цвета на основе полимерного плёнокообразующего. Цвет лакокрасочного покрытия близок к образцу Pinie 60 по каталогу «FASSADE A1». Покрытие подверглось сильной фотоокислительной деструкции («выгорело»), возможно, первоначальный цвет был на тон темнее. Отмечено сильное меление поверхности лакокрасочного покрытия.

На второй секции (образец №3) лицевая поверхность окрашена лакокрасочным составом на минеральной основе бордового цвета. Цвет лакокрасочного покрытия близок к образцу Barolo 80 по каталогу «FASSADE A1». Отмечены следы фотоокислительной деструкции, трещины, «выгорело», возможно, изначальный цвет был на тон темнее, т.е. близок к образцу Barolo 75 по каталогу «FASSADE A1». Кроме того, на лицевой поверхности образца обнаружены следы лакокрасочного покрытия на минеральной основе блекло-желтого цвета, на основе жёлтой охры. Покрытие разрушено, частично удалено с поверхности. Цвет лакокрасочного покрытия близок к образцу Palazzo 265 по каталогу «FASSADE A1». Между слоями лакокрасочных покрытий отсутствует адгезия. Отмечено сильное меление всех окрасочных составов.

Лицевая поверхность образцов №4 и №5 (третья секция) окрашена лакокрасочным составом белого цвета на основе полимерного связующего. Отмечена сильная деструкция покрытия: меление, трещины, большое количество крупных и мелких пор. Вся поверхность образцов покрыта сеткой микротрещин.

Лицевая поверхность образцов №6 и №7 (четвёртая секция) окрашена лакокрасочным составом белого цвета на основе полимерного связующего. Отмечена сильная деструкция покрытия: меление, большое количество крупных и мелких пор. Вся поверхность образцов покрыта сеткой микротрещин.

С обратной стороны (самый нижний слой) образца №3 второй секции обнаружены следы надписи чёрного и белого цвета (фрагмент рекламной надписи). Надпись чёрного цвета выполнена минеральным составом на основе сажи (аморфный углерод). Отмечено меление поверхности. Состав сохранил чёткость контура надписи и яркость, т.е. не подвергся сильной фотоокислительной деструкции. Состав белого цвета изготовлен на основе карбоната кальция, предположительно – мела. Отмечено меление поверхности, состав практически разрушен.

В нижнем слое образца №4 (второй этаж 3-й секции) обнаружено лакокрасочное покрытие на минеральной основе яркого сине-фиолетового цвета (возможно – фрагмент рекламной надписи). В качестве пигмента был использован ультрамарин. В каталоге «FASSADE A1» данный цвет отсутствует. Цвет лакокрасочного покрытия близок к образцу Ultramarinblau 10 по каталогу «Histolith» (специализированный каталог реставрационных красок). Состав сохранил яркость, т.е. не подвергся сильной фотоокислительной деструкции. Отмечено сильное меление покрытия.

Здание многократно штукатурилось, затиралось и перекрашивалось составами на различной основе. Следует отметить, что в более ранний период окрасочные работы производились минеральными составами, а в более поздний период – совершенно отличающимися по природе составами на основе полимерного плёнокообразующего, не имеющими с ранними химического средства, что и вызвало низкую межслойную адгезию. Нижележащие слои лакокрасочных покрытий не удалялись должным образом.

Отмечено, что поверх не удалённых ранних минеральных составов нанесена современная цементосодержащая штукатурка, сохранившая высокую прочность. По данной штукатурке производили покрасочные работы составами на основе полимерного плёнкообразующего.

Первоначально здание было окрашено двумя минеральными составами на основе охры. Цвет одного из лакокрасочных покрытий блекло-оранжевый, близок к образцу Раурау 110 по каталогу «FASSADE A1». На отдельных участках обнаружены следы лакокрасочного покрытия другого цвета – блекло-жёлтого, на основе жёлтой охры. Покрытие разрушено, частично удалено с поверхности. Цвет лакокрасочного покрытия близок к образцу Palazzo 265 по каталогу «FASSADE A1».

В настоящее время в связи с реконструкцией здания под административно-гостиничный комплекс Министерством культуры Республики Беларусь принято решение сохранить фасадную стену по улице Советской и увеличить этажность комплекса в глубину квартала. В связи с чем, заказчиком была удалена предназначенная к демонтажу часть здания. Однако, как показали результаты проведенного обследования технического состояния фасадных стен, состояние ограждающих конструкций было признано как неработоспособное. Сложность укрепления стены заключалась также в состоянии и глубине заложения фундаментов. Оказалось, что здание по ул. Советской, 45 представляло собой 9 блокированных домов с глубиной заложения фундаментов от 1,5 до 0,2 м. Таким образом, оставшаяся стена состояла из 13 самостоятельных стен, не имеющих жёстких связей между собой. Избрание метода сохранения стены было поручено филиалу «Брестреставрацияпроект». Была выработана концепция сохранения историко-культурной ценности. Специалистами филиала «Брестреставрацияпроект» совместно с Брестским государственным техническим университетом произведено археологическое изучение объекта при помощи зондажей, выявлены фрагменты авторской поверхности; выявлены аутентичные балконные ограждения главного фасада; определено техническое состояние и методика восстановления.

По результатам комплексных научных изысканий были сделаны выводы:

- авторская поверхность стены сохранилась фрагментарно;
- конструктив стены не представляет историко-культурной ценности и не подлежит экспозиции;
- здание никогда не являлось памятником архитектуры, а лишь характерной частью исторической застройки, почти полностью утраченной на участке улицы Советской – от Маяковского до Гоголя.
- стена находится в аварийном состоянии.

Предложенная концепция сохранения аутентичной стены полностью соответствует Венецианской Хартии, законодательству Республики Беларусь и современным научным тенденциям в области реставрационной методики. За основу принят метод анастилоза. Реконструкция может предполагать такое переустройство объекта, заключающееся в воссоздании разрушенного памятника из его отдельных частей. При этом не ставится задача искусственно дополнить недостающие части сооружения новоделами, но представить на обозрение все найденные и отреставрированные подлинные детали. Анастилоз – это метод музейной реставрации, предполагающий установку на своё изначальное место подлинных блоков и деталей памятника, перемещённых в результате разрушения или перестроек. Дополнения из нового материала до-

пускаются при этом в минимальных размерах, только в той мере, в какой это необходимо для поддержания возвращаемых на место подлинных элементов. Анастилоз практически всегда фрагментарен.

Таким образом, методика анастилоза данного здания предполагает:

- максимально возможное выявление авторской поверхности, которое будет продолжаться весь период раскрытия объекта;
- демонтаж и хранение аутентичных фрагментов здания, сохранивших авторскую поверхность;
- возведение новых фундаментов аутентичным кирпичом, полученным при демонтаже фасадной стены;
- установка аутентика в процессе строительства на изначальное место;
- сохранение всех аутентичных и восстановление утраченных вывесок и надписей периода 1926-1939 годов на фасадах здания;
- восстановление и установка на первоначальные места аутентичных ограждений балконов.

При проведении реставрационных работ следует учитывать, что оригинальная штукатурка выполнена известково-песчаными составами, обладающими высокой пористостью, газо- и паропроницаемостью. Для восстановления штукатурного слоя рекомендуется использовать штукатурные смеси на основе известкового вяжущего, не содержащие цемента, обладающими водостойкостью, высокой паропроницаемостью и адгезией к основанию [5].

При проведении покрасочных работ следует соблюдать инструкции и рекомендации предприятия-изготовителя лакокрасочных материалов, используемых в реставрационных работах.

#### **Список цитированных источников**

1. Никитин, Н.К. Химия в реставрации: справ.пособие / М.К. Никитин, Е.П. Мельникова. – Л.: Химия, 1990. – 304 с.
2. Ратинов, В.Б. Химия в строительстве / В.Б. Ратинов, Ф.М. Иванов. – М.: Стройиздат, 1969. – 198 с.
3. Федорук, А.Т. Старинные усадьбы Берестейщины / А. Т. Федорук. – Мн.: БелЭн, 2004. – 576 с.
4. Ивлиев, А.А. Реставрационные строительные работы / А.А. Ивлиев, А.А. Калыгин. – М.: ПрофОбрИздат, 2001. – 272 с.
5. Брок, Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / Т. Брок, М. Гротеклаус, П. Мишке. – пер. с англ. под ред. Л.Н. Машляковского. – М Пэинт-Медиа, 2004. – 548 с.

УДК 72.01 (045)

*Хурс С.Н.*

*Научный руководитель: ст. преподаватель Ширяева Л.А.*

### **ФЕНОМЕН ФОРМЫ НЕЛИНЕЙНОЙ АРХИТЕКТУРЫ**

Целью настоящей работы является изучение причин появления нового веяния в архитектуре, определение нелинейной архитектуры, ее философии и основополагающей теории, освещение причин создания объектов нелинейной архитектуры и принципов формообразования. Поставлена задача показать новый взгляд на архитектуру, взаимодействие и влияние на нее других наук и современных технологий.

## Основная часть

В конце 1980-х – начале 1990-х гг. авангардно настроенные архитекторы открыли для себя новые возможности в области формообразования. Они находились под сильным влиянием феномена новой нелинейной науки, с ее особым взглядом на саму Вселенную и происходящие в ней процессы. Для формирования новой науки важнейшими оказались три теории, родившиеся в 60-е годы XX столетия в области физики и математики: теория сложности, теория катастроф и теория хаоса. Новое качество научные теории приобрели в эпоху сверхмощных компьютеров конца столетия, когда успехи физики и математики вместе с развитием микробиологии получили мощный импульс.

Изучение так называемого нелинейного направления в архитектуре сегодня ведется довольно интенсивно. Начало можно проследить в работах и критических статьях Чарльза Дженкса. Из ряда построек 90-х годов он выделяет три объекта: Музей Гуггенхайма в Бильбао Френка Гери, Еврейский музей в Берлине Дэниела Либескинда и Аронофф-центр в Цинциннати Питера Эйзенмана.

Сегодня нелинейная архитектура – одно из самых перспективных направлений: оно приводит архитектуру в согласие с современной моделью мира как «живого организма. Она опирается как на структуру организмов животного и растительного миров, так и на формулы, определяющие законы движения пластов земной поверхности, так и на космические постулаты об изменчивости и нелинейности Вселенной, на логарифмические формулы математики, закладываемые в качестве основы в программное моделирование.



*Рисунок 1 – Центр искусства и науки в Валенсии. Архитектор С. Калатрава. 2004*

Открытием для архитектуры стала возможность работать с саморегулирующимися системами, появился доступ к так называемой «обратной связи», к имитации «целевого поведения» рождающейся формы. Использование эффектов, аналогичных «обратной связи», – неожиданных и как бы целенаправленных логических переходов на «другую траекторию» – выводит архитектуру из привычного состояния статики, придавая динамизм ее внутренней структуре. Это кажется немислимым, но хаотичность становится отправной позицией для ряда проектов. Как и в новой науке, хаос трактуется как шанс, обеспечивающий вероятность согласованности более высокого порядка, как некая внутренняя возможность, подгоняемая организующей волей особой системы, которую можно назвать «проект и его создатель».

Можно рассмотреть несколько направлений и теоретических основ, на которые свойственно опираться нелинейной архитектуре.

В частности хотелось бы указать на дигитальную архитектуру – это современная цифровая архитектура, отличительным признаком которой являются сложные, криволинейные формы. Она несет в себе новые смыслы, новое понимание пространства, новые черты сочетания реального и виртуального мира в одном архитектурном объекте. Дигитальная архитектура основана на компьютерном моделировании, как относительно земной поверхности, так и используя виртуальную сеть. Компьютерная технология позволяет проводить

опыты, рассчитанные на непредсказуемость результата (так называемые «пороговые» технологии), а также оперировать немислимыми формами - «солитонами», «гиперкубами», «самоподобными фракталами» и др. Двигаясь в этом направлении, архитектура сама обнаруживает способность к своего рода открытиям в области создания формы. В свою очередь дигитальная архитектура опирается на различного рода теории:

1. Теория хаоса. Ее основоположник Эдвард Лоренс (1917-2008) – американский математик и метеоролог. Он утверждал, что хаос – это вовсе не синоним беспорядка. Это такое состояние чего-либо, когда от малейшего вздоха или взмаха крылышек бабочки меняется, ломается и рушится что-то огромное и величественное и далее пребывает в состоянии сложности, нелинейности и динамичности. Во Вселенной преобладают нелинейные системы, развивающиеся непредсказуемо и скачкообразно, это означает, что внимание должно быть сконцентрировано на самой системе, на внутренних импульсах ее поведения. Пришедшее с новой наукой понятие о Хаосе как особом виде Порядка, о поведении саморегулирующихся систем, спонтанно внутри себя вырабатывающих новый Порядок, – все это дало человечеству понимание непредсказуемости будущего.

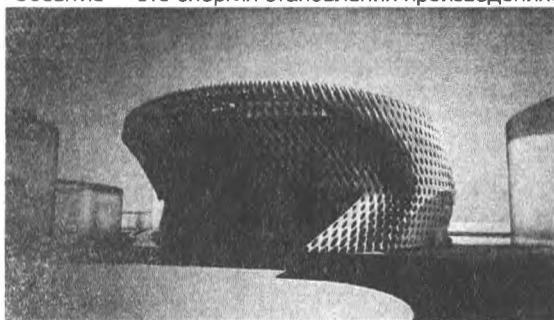
2. Теория сложности. Ее основоположником является бельгийский физик-химик- Пригожин Илья (1917-2003). Это теория о возможности внезапного некоего нового организованного образования в результате взаимодействия компонентов какой либо системы. Это происходит в том случае, если система отошла далеко от состояния равновесия и подведена к пороговому состоянию между порядком и хаосом. Парадигма сложности в архитектуре развивалась одновременно и как бы параллельно с наукой о сложности. Сложность была сутью постмодернистской концепции «трудного целого», деконструктивистских принципов запутанности и разорванности. Архитектура способна порождать новые методы, исходя из собственных возможностей. Знаменательно, что порыв к новой, свободной форме, сложной и динамичной, обозначился много раньше, чем эту потребность архитектуры поддержала компьютерная технология. К концу 90-х парадигма сложности в архитектуре стала определяющей, она воплотилась в особом типе сверхсложных структур.

3. Теория катастроф. Основателем является французский математик-тополог Рене Том (1923-2002). Термин «катастрофа» в его трудах обозначает некое скачкообразное превращение «качественных скачков» в развитии систем различной природы. Так, «эффект трещины» трактуется им – в зависимости от контекста – и как «раскалывание» и как «сшивание краёв». Теория катастроф - это важный инструмент для исследования динамических систем, систематизированная классификация внезапных переходов от одного устойчивого состояния к другому.

4. Теория фракталов. Фрактальные алгоритмы (правила построения) в природе и творчестве человека открыл французский и американский математик Бенуа Мандельброт (1924-2010). Самый простой фрактал – береговая линия на карте. Сколько ни меняй масштаб карты, линия берега всегда будет изрезанной и витиеватой, то есть фрактальной. Снежинки – тоже фракталы. Если обобщить, то фракталом называется объект, изображения которого постоянны в любых масштабах. И именно неправильные объекты составляют большинство объектов в природе. «Фрактал – есть бесконечное изменение самого себя. Он самодостаточен. Он есть самодвижение, движение по самому себе, всегда подразумевающее длящуюся обратную связь, то есть рост. Исходя из весьма сложных представлений о фракталах, архитектор строит аналогии и пытается выйти на новые позиции в теории.



5. Теория складки. Понятие «складка» ввел французский философ Жиль Де-лез (1925-1995), как способ существования различия. Динамическая, «силовая» модель складки определяется противоборствующими силами, каждая из которых пытается взять верх над другой (силы сгибания, сгиба). При этом складывание – это не сгибание, ибо сгибать – это преодолевать сопротивление материала (или той, всегда внешней, силы, которая сохраняет форму сгибаемого), это значит прикладывать силу к материалу, который достаточно пластичен, чтобы уступить внешней для него силе запечатлеть на себе ее воздействие. «Событие» – это энергия становления произведения. И каждый всплеск этой энергии застывает в «складке» структуры этого произведения. «Складка» – это пространственное выражение события. Произведение складывается из серии «складок».



*Рисунок 2 – Кампус правосудия, Мадрид. Архитектор Заха Хадид, 2007*

Многообразие вариантов поиска архитектурной формы сегодня увеличивается по мере происхождения новых научных теорий.

В свою очередь, лэндморфная архитектура основана на законах движения, сдвигов земной поверхности. Проекты создаются, учитывая подъемы и спады напряжения земной энергии. Проекты, ближе всего стоящие к лэндморфной архитектуре чаще всего относят к искусству градостроительства, но лишь к той его составляющей, которая обращается к контексту самой земли, к ее структуре, ее жизни как особой форме творчества природы. Лэндморфная архитектура как бы перенимает законы формообразования земли и выступает как своего рода артикулированный ландшафт. Идея архитектуры артикулированного ландшафта – одна из наиболее продуктивных в 90-е годы. Лэндморфная архитектура родилась из глубоко прочувствованной метафоры, возникшей на основании новых представлений о «живой» Вселенной.

Далее необходимо выделить космогенную архитектуру – как теорию, относительно которой любое сооружение есть отображение космического порядка. Космогенная ввиду сходства нелинейных процессов порождения архитектурной формы с процессами Вселенной. Смысл нелинейных космогенных опытов архитектуры – приблизиться к природным явлениям, к поведению природных систем, порой парадоксальному и непредсказуемому. Для этого архитектор уходит от геометрии, хорошо описываемой линейными уравнениями.

Следующим направлением рассмотрим зооморфик. Оно базируется на создании образов, ассоциирующихся с формами животного мира. Любой объект зоологического морфотипа может стать прототипом образа проектируемого сооружения. В некоторых случаях эта схожесть носит сугубо поверхностный характер. В других проектах – это скорее философская попытка приблизить человека к его истинной природе, поиск самых совершенных экологических форм и исследование внутренней структуры «живого». В понятие «живое» включаются все объекты природы – минеральное царство, флора, фауна, явления природы.

И в заключении обратим внимание на органи-тек – это течение в нелинейной архитектуре, которое кроме внешнего вида и конструктивного решения,

заимствованного у животных и растительных тел, опирается еще и на законы экологичности объектов. Рассматривая органи-тек в его становлении, прослеживается развитие его выразительного языка. Ч. Дженкс проводит своего рода систематизацию подходов, начиная с наиболее очевидных метафор, подчеркивающих сходство архитектурных конструкций с живыми организмами. Архитектурные конструкции, прежде всего, рассчитаны на художественную игру с окружающим в изощренной форме сюрреалистической скульптуры.

В результате анализа были сформулированы формообразующие принципы нелинейной архитектуры, которые включают в себя:

1 Использование новейших цифровых технологий и компьютерных программ – принцип базируется на теориях современной науки и их философском осмыслении, способствующих развитию нелинейных методов формообразования, основанных на применении компьютерного оборудования, позволяющего моделировать динамические криволинейные архитектурные объекты, открытые к адаптациям и трансформациям формы.

2 Комплексный учет условий – основан на применении математических принципов нелинейности, являющихся опорой для создания индивидуальных компьютерных алгоритмов или программ, применяемых для прогнозирования формального результата, где процесс виртуальных превращений модели способствует получению оптимизированной архитектурной формы.

3 Абстрактный символизм и художественность образа – основан на динамическом восприятии формы «здесь и сейчас», делая объект многосмысловой абстракцией, подчиненной конкретной ситуации и среде, в которой он находится. Динамические изменения архитектурной формы, эстетически наполняют ее абстрактными символами и художественными образами.

#### **Заключение**

В результате длительных метаморфоз архитектурных течений и образования новых стилей: постмодернизма и деконструктивизма, психология и мышление переходит на качественно новый уровень проектирования. И если хай-тек опирался на образы техники, а постмодернизм - на образы сугубо архитектурные, то сегодня - благодаря цифровым технологиям - эти образы могут быть любимы. Архитектура сегодня обладает множеством идеалов и прототипов. Нельзя не отметить, что архитектура стала очень сложной. Архитекторы вовлекают нас в совместное исследование сложности и относительности. Появляется вариантность решения внутреннего пространства и внешнего вида. Происходит отказ от традиционной стоечно-балочной системы. В тоже время нелинейная архитектура подвергается типологии. Все типы схожи принципами, а отличаются – прототипами и идеологиями. В качестве исполнителя – проектант сегодня может выступать не только профессиональный архитектор, но и компьютер, мобильный телефон и другие всевозможные цифровые устройства.

#### **Список цитированных источников**

1. Добрицына И.А. От постмодернизма - к нелинейной архитектуре: Архитектура в контексте современной философии и науки. - М.: Прогресс-Традиция, 2004, стр. 161 – 163, 171, 176-178, 181, 216

2. Дженкс Ч. Язык архитектуры постмодернизма / Пер. с англ. В. Рабушина, М.В. Уваровой; Под ред. А. В. Рябушина, Л. Хайта — М.: Стройиздат, 1985.—136 с.

3. Теория Хаоса, [Электронный ресурс]. Москва 2013. - Режим доступа: <http://www.lgz.ru/article/-46-6439-20-11-2013/teoriya-khaosa-kak-poymat-babochku-lorentsa/> - Дата доступа: 10.03.2015

4. Складка, [Электронный ресурс]. Москва 2010. - Режим доступа: <http://iph.ras.ru/elib/2750.html> – Дата доступа: 02.03.2015

УДК 624.012.45

Царук О.Г.

*Научный руководитель: кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительных конструкций, Шалобыта Н.Н.*

## **К АНАЛИЗУ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ СО СМЕШАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ**

Железобетон, как и любой другой неоднородный материал, является достаточно сложным для расчёта и конструирования. Это связано с особенностями совместной работы бетона и арматуры при приложении нагрузки, а также при образовании и развитии трещин в бетоне.

С появлением современных программных комплексов конечно-элементного моделирования интенсивно развиваются нелинейные расчёты ж/б конструкций с использованием нелинейных деформаций материалов. При этом имеется возможность варьировать различные факторы, влияющие на перераспределение усилий, и на стадии проектирования создавать такие условия, учитывающие пластические свойства материала, при которых перераспределение усилий будет происходить в заданном направлении. Это позволит получить существенный технико-экономический эффект, который еще далеко не полностью реализуется при проектировании [4]

### **Основная часть**

На данный момент существует определенный перечень программных комплексов, позволяющих производить научный анализ напряженно-деформированного состояния конструкции. Для инженерного анализа применяют комплексы Sofistik, SAP2000, STARK и другие. Для научного анализа применяют комплексы более высокого уровня MSC.Nastran, ANSYS, ABAQUS.

В качестве базового комплекса для численного анализа железобетонного элемента, армированного стальной и стеклопластиковой арматурой, был выбран программный комплекс ANSYS, поскольку имеет возможность моделировать железобетонные конструкции с учетом образования трещин в растянутой зоне бетона, а также раздробления его в сжатой зоне, что являлось принципиальным требованием при постановке целей исследования.

Программный комплекс ANSYS решает методом конечных элементов стационарные и нестационарные, линейные и нелинейные задачи из таких областей физики, как механика твёрдого деформируемого тела, механика жидкости и газа, теплопередача, электродинамика. Возможно решение связанных задач. Для решения задач деформирования конструкций МКЭ применяется в варианте метода перемещений [1]. Расчёты могут производиться в пакетном (*Batch*) или интерактивном (*Interactive*) режимах. При применении двух этих режимов реально воспользоваться всеми возможностями комплекса.

### **Методика численного моделирования**

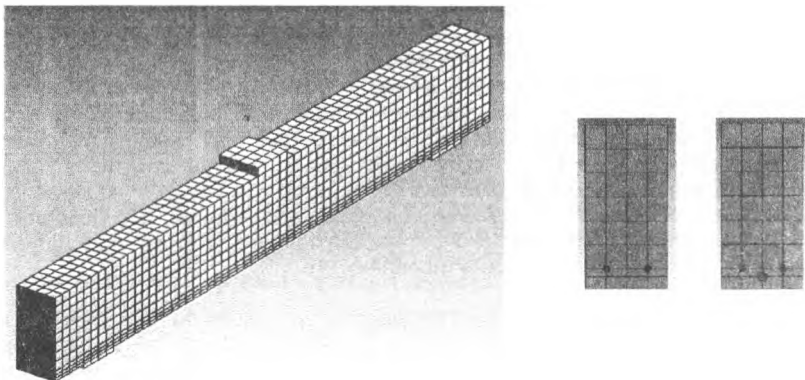
Для описания тела железобетонной балки использовался объемный конечный элемент SOLID 65. Опорные пластины моделировались с использованием объемного конечного элемента SOLID 185. Для моделирования контактной области между опорными пластинами и телом балки использовалась пара конечных элементов TARGE 170 и CONTA 174. Для моделирования стержневых элементов армирования использовался конечный элемент LINK 180.

Размер конечных элементов принимался в соответствии с расположением элементов армирования по сечению. Вдоль пролета балки размер конечного

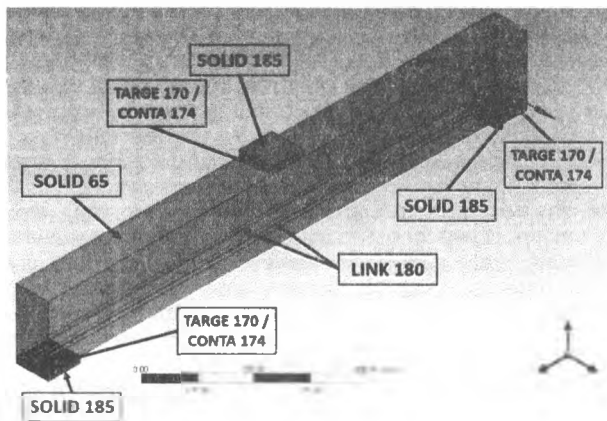
элемента для бетона и арматуры был принят равным 25 мм. Контакт между бетоном и арматурой обеспечивался совмещением узлов КЭ-сетки арматуры и бетона.

Для исключения влияния приложения приложения сосредоточенной силы и возникающих вследствие этого локальных всплесков напряжений, нагрузка прикладывалась через распределительные пластины, установленные в том числе и на опорах. Контакт между пластинами и телом балки задавался таким образом, чтобы обеспечивалась полная совместность перемещений общих узлов сетки

На рисунках 1 и 2 представлено разбиение на конечные элементы и общий вид геометрической модели исследуемой балки.



*Рисунок 1 – Разбиение на конечные элементы*



*Рисунок 2 – Общий вид геометрической модели*

Элемент SOLID 65 используется для трехмерного (3D) моделирования объемных тел, имеющих или не имеющих арматуру [1]. Элемент определяется восемью узлами, имеющими три степени свободы в каждом узле: перемещения в 228

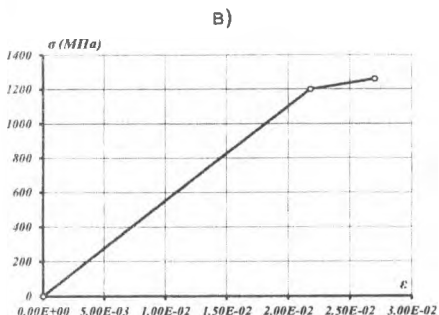
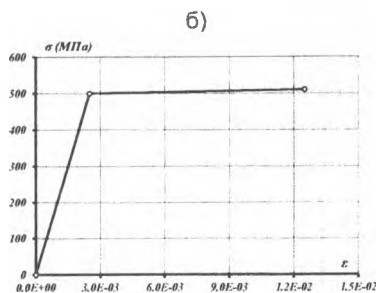
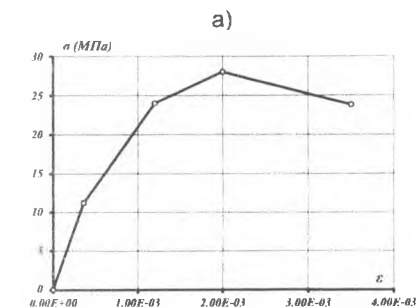
направлении осей X, Y и Z узловой системы координат. В элементе можно указать до трех настроек армирования. Элемент обладает специальными возможностями образования трещин и дробления. Самой важной особенностью элемента является использование нелинейных свойств материала.

Для учета физической нелинейности учитывалась полная диаграмма деформирования для бетона, билинейная диаграмма деформирования для стальной арматуры, полная диаграмма деформирования для стеклопластиковой арматуры.

Принятые прочностные и деформационные характеристики для материалов представлены в таблице 1, диаграммы деформирования для всех материалов представлены на рисунке 3.

Таблица 1 – прочностные и деформационные характеристики материалов

Материал	Модуль упругости $E$ , МПа	Коэффициент Пуассона $\nu$
1	2	3
Бетон С20/25	31000	0.2
	Средняя прочность при сжатии $f_{cm} = 28$ МПа Средняя прочность при растяжении $f_{ctm} = 2.2$ МПа	
Стальная арматура S500	200000	0.3
Стеклопластиковая арматура АСП $\varnothing 8, \varnothing 10, \varnothing 12$ .	55000	0.2



а) – бетон, б) – стальная арматура,  
в) – стеклопластиковая арматура  
Рисунок 3 – Принятые диаграммы деформирования материалов

### Результаты численного моделирования

Первым этапом анализа было сопоставление величины предельной нагрузки по результатам ручного расчета и численного моделирования в случае использования в качестве армирования стальной арматуры.

В таблице 2 представлены полученные значения.

Таблица 2 – Результаты теоретического и численного расчета

Площадь армирования $A_{st}, \text{см}^2$	Разрушающая нагрузка, кН		Отклонение $\Delta, \%$
	теоретический расчет	численный расчет	
1	2	3	4
$2\emptyset 6 (A_s = 0.566 \text{см}^2)$	15.95	19.4	22
$2\emptyset 8 (A_s = 1.006 \text{см}^2)$	27.33	34	24
$2\emptyset 10 (A_s = 1.57 \text{см}^2)$	40.67	52.2	28
$2\emptyset 12 (A_s = 2.26 \text{см}^2)$	55.28	67.6	22
$2\emptyset 14 (A_s = 3.08 \text{см}^2)$	70.07	72.4	3
$2\emptyset 16 (A_s = 4.02 \text{см}^2)$	78.83*	82	4
$2\emptyset 18 (A_s = 5.09 \text{см}^2)$	78.83*	80.6	2

\* - разрушение по сжатой зоне бетона

Вторым этапом анализа была оценка эффекта от использования стеклопластиковой арматуры совместно со стальной. Для этого в КЭ-модель был добавлен стержень стеклопластиковой арматуры разных диаметров ( $\emptyset 8, \emptyset 10, \emptyset 12$ ) в дополнение к стальной ( $2\emptyset 8, 2\emptyset 10, 2\emptyset 12$ ).

Графическая интерпретация полученных данных представлена на рисунке 4

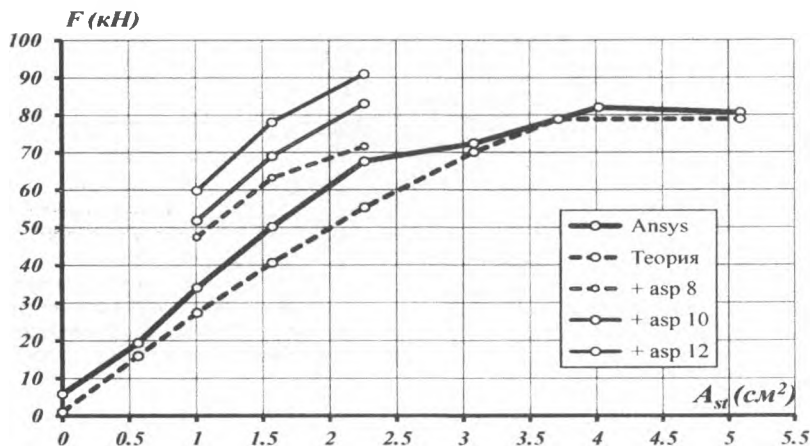


Рисунок 4 – Зависимость предельной нагрузки от площади армирования

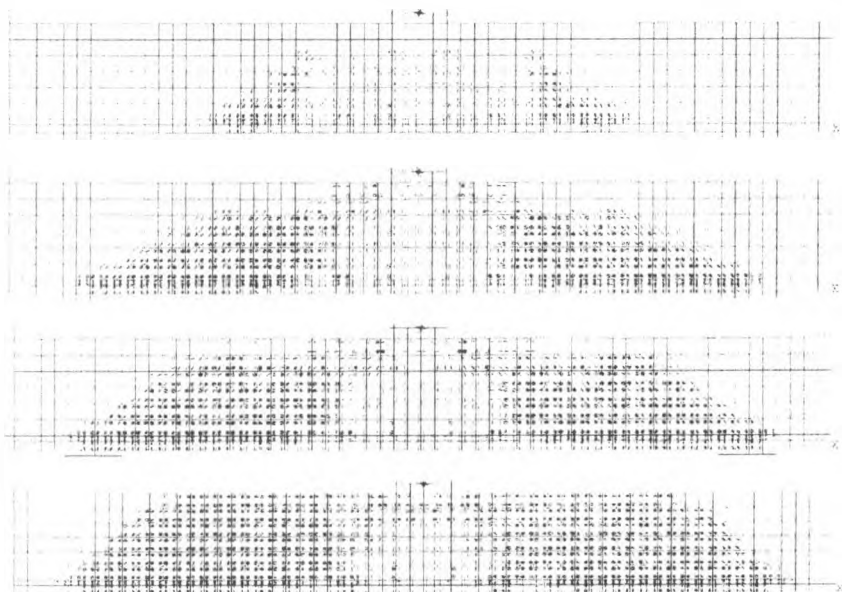
Анализ полученных данных в случае армирования стальной арматурой показал превышение значений разрушающей нагрузки по результатам численного моделирования в сравнении с соответствующими результатами теоретического расчета на величину порядка 25%.

На рисунке 5 представлен характер деформирования балки с указанием растягивающих относительных деформаций в предельном состоянии.



**Рисунок 5 – Растягивающие относительные деформации**

На рисунке 6 представлен характер образования трещин в балке со стальной арматурой на разных стадиях нагружения.

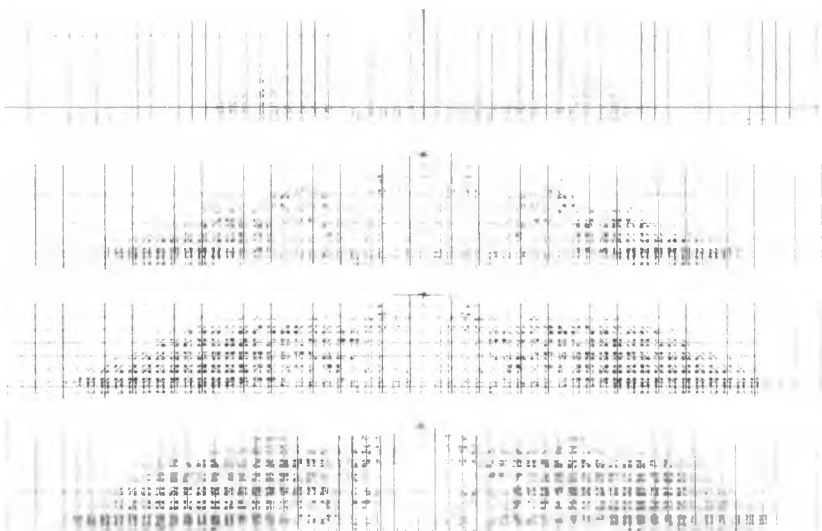


**Рисунок 6 – Развитие трещин в балке со стальной арматурой**

При применении стеклопластиковой арматуры в дополнение к стальной рассматривался процесс перераспределения напряжений в бетоне и арматуре после образования трещин в бетоне и достижении предела текучести в стальной арматуре. В качестве примера рассмотрено сечение с армированием  $A_s 2\emptyset 10 + A_{\phi} \emptyset 10$ .

При нагружении балки наблюдалось три основные стадии работы конструкции (см. рисунок 8). На первых этапах нагружения наблюдалась линейная работа сечения балки до момента образования первых трещин в растянутой зоне бетона. Далее при достижении нагрузки 14 кН наблюдалось образование первых трещин, что привело к включению в работу армирования в большей степени при снижении жесткости бетонного сечения. С дальнейшим ростом нагрузки наблюдался рост деформаций в бетоне и арматуре. В армировании данный этап был линейным. Следующим ключевым моментом было наступление предела текучести в стальной арматуре при нагрузке 53 кН. С этого момента происходит нарастание напряжений в стеклопластиковой арматуре при неизменных напряжениях в стальной арматуре, т.е. большую часть нагрузки начинает воспринимать стеклопластиковая арматура. В дальнейшем происходит разрушение образца балочной конструкции из-за превышения предельных деформаций в бетоне и значительных напряжений и деформаций в стальной арматуре.

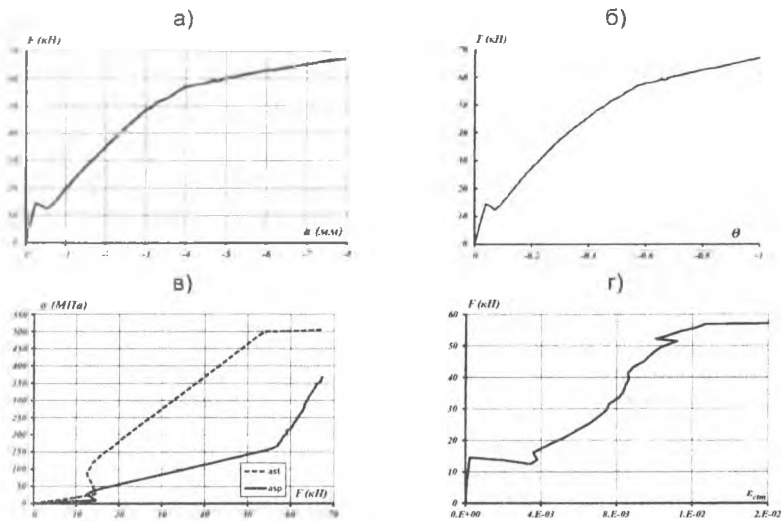
На рисунке 7 представлен характер образования трещин в балке со стальной и стеклопластиковой арматурой на разных стадиях нагружения



**Рисунок 7 – Развитие трещин в балке со стальной и стеклопластиковой арматурой**

На рисунке 8 представлены графики зависимости прогиба, угла поворота балки, а также относительных деформаций растяжения от прикладываемой нагрузки. Также представлен график, на котором виден процесс перераспределения напряжений на стеклопластиковую арматуру при достижении в стальной арматуре предела текучести.





а) – прогиба балки от величины прикладываемой нагрузки,  
 б) – угла поворота балки от величины прикладываемой нагрузки,  
 в) – напряжений в арматуре от величины прикладываемой нагрузки,  
 г) – относительных деформаций растяжения  
 от величины прикладываемой нагрузки  
**Рисунок 8 – Графики зависимости**

### Заключение

Использование КЭ-модели позволяет проводить полный анализ работы конструкции на любом этапе нагружения и с любыми параметрами сечения и армирования при наименьших финансовых и временных затратах, однако необходимость в экспериментальных испытаниях новых конструкций или конструктивных решений остается, поскольку для адекватной КЭ-модели необходима верификация.

### Список цитированных источников

1. Басов, А.К. ANSYS. Справочник пользователя / А.К. Басов. – М.: ДМК, 2005. – 639с.
2. Пецольд, Т.М.; Тур, В.В. «Железобетонные конструкции. Основы теории расчета и конструирования». Издательство БГТУ, 2003.
3. Тихий, М., Ракосник, Й. «Расчет железобетонных рамных конструкций в пластической стадии. Перераспределение усилий.» перевод с чешского Б.М. Сергеевко 1976г.
4. Шалобыта, Н.Н. Границы перераспределения усилий в железобетонных конструкциях / Н.Н. Шалобыта, М.Ч. Полонский, Т.П. Шалобыта, А.В. Масилевич // Вестник Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 1(85): Строительство и архитектура. – с. 33–36.
5. CEB-FIP Model Code 1990- Chapter 1-3, Final Draft. CEB Bull.d' Inf., 1991, No. 203.
6. DIN 1045-1:2001-07. Concrete, reinforced and prestressed concrete structures - Part 1: Design and construction – 148p
7. EN 1990 : 2001. Eurocode – Basis of Structural Design. – Brussels – 2011-67p.
8. EN 1992-1:2001 (Final Draft, April, 2002) Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General Rules and Rules for Building – Brussels – 2002, October - 230p.

## **РАЗВИТИЕ АРХИТЕКТУРЫ ПИНСКА ВО ВРЕМЯ ПОЛЬСКОГО ПЕРИОДА (1921-1939гг.)**

Цель работы состоит в том, чтобы раскрыть значение и роль малоисследованного межвоенного периода как одного из важных архитектурных составляющих г. Пинска.

Для реализации поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- изучить историю архитектурных сооружений г.Пинска в межвоенный период.
- раскрыть типологические особенности архитектуры города 20-30гг.
- определить стилистические особенности архитектурных сооружений г.Пинска в межвоенный период.

Архитектурное отличие Пинска от других городов нельзя не заметить благодаря сохранившейся исторической застройке, по сохранности которой Пинск занимает второе место в Беларуси, уступая только Гродно. В этом плане Пинск — город уникальный. Здесь можно изучить стили и направления в белорусском зодчестве от эпохи Возрождения до наших дней: вдохновенность барокко, каноничность классицизма, раскованность эклектики, модернистический и рационалистический поиск конструктивизма.

Наиболее слабо изучена архитектура г.Пинска в период 20-30 гг XX столетия. Это объясняется рядом причин:

во-первых основные характерные элементы декоративного решения фасадов предшествующего этому периоду стиля модерн сохранились в небольшом количестве. Модерн слабо проявился на белорусских землях из-за несохранившихся памятников архитектуры и поэтому детально не изучен;

во-вторых, долгое время считалось, что из-за пожара в августе 1921 года, уничтожившего третью часть г.Пинска, архитектура межвоенного периода должного развития не имела;

в-третьих, польский период в истории Беларуси, как и нашего города, в советской историографии был слабо изучен.

Согласно условиям Рижского мирного договора между советской Россией и Польшей, заключенного 18 марта 1921 года западная часть Беларуси, в том числе и Пинск, отходили к польскому государству. Польскими властями Пинск был объявлен центром Полесского воеводства и находился в этом статусе в течение шести месяцев. Однако после разорительного пожара в конце августа – начале сентября 1921 года, в ходе которого частично пострадали или были, в некоторых случаях, полностью уничтожены многие архитектурные здания и государственные учреждения, польским правительством было решено временно перенести центр воеводства из Пинска в Брест. Так как перенос столицы Полесского воеводства считался временным, то на восстановительные и реставрационные работы в Пинске были выделены значительные средства. В Старом городе и вокруг него появилось много новых зданий, которые служили гармоничным дополнением к существующей застройке. Их архитектурная стилистика: мансарды, мезонины, порталы на срезанных углах здания, высокий цоколь и полуподвалы для размещения магазинов и мастерских – самостоятельное культурное явление в истории развития городской среды. Таким образом, 20-30 гг. XX ст. можно охарактеризовать как период полномасштабного строительства в городе Пинске.

Сохранение частной собственности с медленным ростом населения делало ненужным развитие многоэтажного жилого строительства, вместо которого

возводились относительно небольшие, обычно двухэтажные особняки. В Пинске по улице Ленина (бывшая Костюшко) сохранилось несколько десятков зданий, построенных в межвоенный период. Все они имеют сложную композицию планов и необычные фасады. В тоже время продолговатые и высокие окна имеют классический стиль. Большинство этих зданий построено приехавшим в 1922 году из Петербурга в город Пинск известным архитектором Николаем Ивановичем Котовичем. Он родился в г. Вильно, по происхождению был белорусом. До начала Первой мировой войны (1914г.) в Петербурге и его окрестностях под его руководством было построено более 200 зданий. С 10 июня 1922 года Николай Котович руководил, созданным им в Пинске, строительным и землемерным бюро. Занимался и своей основной работой: проектировал и строил частные дома и производственные корпуса в Пинске. После Пинска в 1928-1929 гг он занимал должность главного архитектора г.Бреста, где по его проектам было возведено не менее 25 зданий.

Таким образом, такие известные в г.Пинске здания, как хирургическая больница доктора Д.Евсеевко (ул.Завальная,18, сейчас здание филиала детской поликлиники), дом Шмида - отель Ангельский (ул.Ленина,2, ныне коммерческое здание), дом Наймона, на первом этаже которого находился ресторан и кондитерская Т. Грегоровича (Ленина, 36, ныне коммерческое здание, магазины и банк, рис.1), дом Басевича (ул.Ленина,27, Брестский филиал республиканского научно-исследовательского предприятия "Институт радиологии"), а также жилые дома Е.Айзенштадта, В.Медника, (ул. Ленина 20,22,32, здания коммерческого использования), производственные корпуса спичечной фабрики и др., сохранившиеся до наших дней, построены под руководством архитектора Н.Котовича.



*Рисунок 1 – ресторан и кондитерская Т. Грегоровича*

В межвоенном Пинске процветал гостиничный бизнес. Так в доме Шмида (рис.2) по улице Ленина, располагалась элегантная трехэтажная гостиница «Английская», которая выходила на главную площадь города. В ней располагались первоклассные номера с удобствами и телефонами, а также ресторан-кабаре «Парадис» («Рай») владельца Петринича. Кабаре славилось «фурдандерками» - дамами для танцев (так их называли пинчане), приезжими девушками, зарабатывающими этим себе на жизнь. До 1939 года дом использовался очень широко. В нем размещались магазины, в том числе лучший в городе магазин одежды и галантереи Когана, почтовое представительство и жилье. О магазине Когана говорили, что человек мог войти сюда абсолютно голым, а выйти одетым и обутым с иголкой, во фраке, котелке, туфлях, перчатках и с тростью.

Здание было построено в течение 1925-1928. В плане имеет форму четырехугольника, образующего небольшой внутренний дворик. Архитектурный облик несколько скромный, подчеркнут межэтажными профилированными поясками, расшивкой штукатурки под руст, плоскими наличниками проемов, ажурными балконными решетками. Угол здания опирается на мощную приземистую колонну, за которой скрывается дверь. В ходе реставрации на колонне раскрыли довоенную надпись на польском языке: «Комиссионная продажа А.А. Гольбергов» на угловом эркере указаны годы строительства: 1925-1928, а над эркером находится восстановленный реставраторами аттик в виде аркады. В 1930 г. здание, согласно ипотечной записи, включает в себя 2 подвальных зала, 5 залов на 1 этаже с главным входом с площади 3-го Мая (площадь Ленина), гараж; - 8 покоев с коридором на 2-м этаже; и 5 покоев на 3-м этаже. Элементы стиля модерн и конструктивизма архитектор соединил в едином решении углового фасада. Дом Шмида в результате тотального сноса исторической застройки вокруг центральной площади города, после иезуитского коллегиума, остался вторым и последним памятником градостроительства на главной площади.



**Рисунок 2 – Гостиница «Английская»**

Здание почты еще один памятник архитектуры. В 1937 году Министерством почт и телеграфов Польши и городскими властями было принято решение о выделении денег на строительство нового здания почты в центре города, отвечающего всем техническим условиям того времени.

Старое здание почтовой конторы, которое тоже находилось в центре города, уже не соответствовало тогдашним условиям работы почты. В короткие сроки здание было построено по улице Огинского (Заслонова) по последнему слову техники и архитектуры тех лет. До сих пор несколько поколений пинчан вспоминают знаменитые "двери-вертушку" городской почты. Таких зданий для почты на территории Западной Беларуси было построено всего два. Пинская почта и сегодня располагается в этом здании.

В 1920-30 годах в городе Пинске действовала развитая сеть банковских представительств и контор, которые оказывали различные банковские и финансовые услуги населению и субъектам хозяйствования. Многие используемые банковские учреждения сохранились до наших дней. Из них:

Здание кредитного банка. (Ул. Заслонова, 8). Построено в 1920-е гг. из кирпича.

Двухэтажное здание имеет нерегулярный план, обусловленный угловым размещением объекта. Угловая часть дома на первом этаже закруглена, а на втором срезана, в результате чего образован своеобразный балкончик. Ритм и размеры окон определены функциональным решением здания. Входной портал расположен асимметрично и подчёркнут большим полуциркульным окном над ним. Планировка коридорная, Т-образная, с двусторонним расположением помещений. Вверху, на углу, когда-то были куранты, сейчас их перенесли на здание иезуитского коллегиума. Здание кредитного банка – памятник архитектуры с элементами модерна. Сегодня здесь расположена музыкальная школа.

Здание поземельно-крестьянского банка. (Ул. Заслонова, 17). Построено в 1920 г. из кирпича. Ныне здесь расположено Полесское отделение агропромышленного банка. Прямоугольное в плане трёхэтажное здание с 3 ризалитами выделяется чёткостью композиции, выразительностью пластического решения, накрыто вальмовой крышей, с которой сочетаются двускатные крыши ризалитов. Главный продольный фасад раскрепован плоским центральным ризалитом с ярко выраженной осью симметрии, подчёркнутой арочным порталом с полуциркульным импостом. К торцовым фасадам примыкают глубокие боковые ризалиты, в одном из которых устроен боковой вход, в другом — въездная арка. Здание имеет высокий цокольный этаж. Первый этаж трактован как основа более лёгкой верхней части здания и обработан плоским горизонтальным рустом. Два верхних этажа центрального ризалита объединены плоскими ордерными пилястрами и увенчаны развитым антаблементом и ступенчатым аттиком. В декоре использованы элементы ордерной архитектуры, лепнина, витраж, кованный металл, сочетание отделочных материалов разных цветов. Планировка коридорная, с двусторонним размещением кабинетов и центральной двухмаршевой лестницы. Здание поземельно-крестьянского банка – памятник гражданской архитектуры с элементами неоклассицизма.

Ну и конечно дома, каких не найдёшь на востоке страны. Вот например дом, построенный в 1923 году, в это время он принадлежал Т.Грегоровичу, владельцу лучшего пинского ресторана и кондитерской. Мансарда, миниатюрная башня с крышей в форме шлема, дикий виноград вокруг дома - все это напоминает пригородный особняк. В настоящее время – жилой дом. Высокая вальмовая кровля, башня-ризалит с пирамидальной кровлей, асимметричные фасады с разновысотными окнами, орнаментальное ограждение входной лестницы с декоративно украшенными изящными вазами. Архитектурно единое стилевое решение в объединении элементов, предопределив новый стиль Art Deco в архитектуре Пинска 1921-1939 гг.

#### **Заключение.**

В результате исследования пинских архитектурных памятников 20-30 гг XX ст. сделаны следующие выводы:

1. Изучение памятников архитектуры г.Пинска польского периода является одним из актуальных, но малоисследованных аспектов культурного наследия, хотя межвоенный периода сыграл ключевую роль в архитектуре центральной (исторической) части г.Пинска.

2. В начале 1920-х гг в Пинске появляются архитектурные здания гражданско-коммерческого назначения, построенные в различных стилиевых направлениях.

3. Благодаря деятельности в г.Пинске архитектора Н.Котовича (1922-1927гг), здесь проявился местный вариант архитектурных стилей, соединивший элементы классицизма и модерна в новое понимание пространственных форм связанных с влиянием польского функционализма, что можно назвать созданием особого, полесского стиля.

4. Одной из особенностей застройки улиц Пинска являлось, стремление застройки улиц, которую прерывали на уровне первых этажей подъездные арки. При этом на фасадах наблюдается гармоническое соединение декоративных и конструктивных элементов. В интерьерах зданий преобладали вогнутые карнизы, округленные дверные и оконные проемы с богатым декором.

5. В случае полной реставрации всех сохранившихся архитектурных зданий межвоенного периода в г.Пинске, город сохранит неповторимые архитектурные особенности национальной культуры, вернет с небытия шедевры полесского зодчества, что позволит разработать новые экскурсионно-туристические маршруты и привлечет многочисленных туристов.

#### **Список цитированных источников**

1. История Пинска. Архитектура Пинска Электронный ресурс. – 2015 - Режим доступа: <http://pinsk-history.ru/katalog/архитектура-пинска>

2. Ильин, А. Петербургский и пинский архитектор Николай Котович / А. Ильин // Гістарычная брама – 2009. - №1(24).с 87-109.

3. НМУ «Государственный архив Брестской области (ГАБО)». – Ф. 5.- Оп. 2. - Д.339. - Л. 5-10.

4. НМУ «ГАБО». – Ф. 5. - Оп. 2. - Д.339.- Л. 4.

5. Свод памятников истории и культуры Беларуси. Брестская область/ АН БССР, Ин-т искусствоведения, этнографии и фольклора, Белорус. Сов. Энцикл.; Редкол.: С.В. Марцелев и др. – Мн.: БелСЭ, 1990. – 424с.

УДК 32.019.51

*Супрунюк В.В., Чарыева Г.В.*

*Научный руководитель: доцент Данилов Ю.Д.*

### **АРХИТЕКТУРА – КАК ФЕНОМЕН ПОЛИТИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ**

Архитектура на протяжении многих столетий была и остается формой деятельности, направленной на организацию человеческой жизни и совершенствованию его среды обитания. При этом, мы представляем архитектуру еще и как ход организации пространства, и, в то же время, как результат этого процесса, обозначая этим понятием среду уже сформированную и существующую (хотя, естественно, этот процесс не полный и никогда не может быть завершен).

Архитектура изначально является субстанцией, активно влияющей на устройство общества. Она затрагивает все вопросы человеческого общества: формы и уровень производства, условия жизни человека, процесс общественной организации, структуру власти, региональное развитие, системы коммуникативных связей и т.д.

*Уже первый общепризнанный теоретик архитектуры Витрувий указывал на синтетичность архитектурной науки: «...наука архитектуры – это наука, украшенная плодами многих наук и разносторонней образованности...» [1, 65].*

Ещё в Древнем Египте, и во многих других цивилизациях, влияние архитектуры на умы людей, как и на политические аспекты развития этих государств, подразумевало подчеркнуть мощь и могущество правителей. Древние египтяне создали высокоуровневую, глубокую по своей структуре, обильную по сути культуру, которая сильно повлияла на культурное и политическое развитие многих народов Ближнего Востока, а также и древних греков. Многие культурные ценности, архитектурные памятники, созданные египтянами, являются достоянием мировой культуры, заслуживающие всечеловеческого внимания.

Административные центры очагов цивилизации со своей монументальной архитектурой и письменностью, формировали своеобразную зону активного развития политических процессов. Очень важную роль в них играл культ правящего фараона. Согласно мнению жрецов, правитель-фараон считался подобием бога в человеческом облике, т.е. у него была двойная природа – телесная и божественная. Символом, олицетворяющим божественное происхождение фараона был Сфинкс, изображенный в образе спокойно лежащего большого льва с головой человека, которому сообщалось портретная схожесть с фараоном. В египетской религии большое внимание уделялось заупокойному культу, который нашел широкое отражение в архитектуре и монументальном искусстве и носил, безусловно, политический подтекст [2].

Исходные каноны такой архитектуры создавались и претворялись в создании двух видов сооружений: величественных гробниц богочеловеку – фараону, как центральному объекту заупокойного культа, и мест обитания самих богов – храмов. А особую значимость имел заупокойный культ умершего правителя. Всемирно известные пирамиды фараонов 4-ой династии или грандиозные скальные дворцы фараонов 19-20 династий, с бесчисленными сокровищами и ценными произведениями искусства, являются свидетельством и вместе с тем демонстрацией мощи деспотичной политической власти в Древнем Египте.

Судя по описаниям, и сами царские дворцы по своей грандиозности, сложности композиции, изысканности внутренней отделки и благоустройства, ничем не уступали прославленным храмам. Непомерные средства, которые тратились на строительство гробниц, храмов, создание рельефных изображений и настенных росписей, многочисленных статуй, предметов заупокойного культа, показывают колоссальное значение, которое придавалось этим явлениям с точки зрения решения мировоззренческих задач – восхваления правителей-фараонов.

Если перенестись на много веков в будущее, то можно уверенно утверждать, что, например, русская архитектура XVIII-XIX веков, ее идеи, были позаимствованы у европейского классического зодчества. Тем не менее, здесь уже отмечаются некоторые отличия. Русские цари больше гнались за модой, чем за символизмом в строящихся зданиях. Архитектура России XVIII-XIX вв. – отличительная черта широкого размаха возможностей правителей той эпохи, обустроить на свой вкус внешний облик городов. К примеру, Елизавета Петровна была твердо убеждена, что строительство новых роскошных дворцов – часть государственной политики, утверждающее величие империи. Следуя примеру императрицы, спешили строить новые дома и придворные. Строительство роскошных дворцов стало повседневным мероприятием по утверждению величия империи.

Несколько позднее, в начале XX века, американцы приезжали на Нижегородскую ярмарку, чтобы узнать, сколько стоит доллар. Русские купцы уезжали на лето в Париж, на юг Франции, в Швейцарию, Италию, потому что золотой рубль, введённый в обращение Ю. Витте, был самой надёжной валютой, а жить летом за границей было дешевле, нежели в Петербурге или Москве. Это способствовало взаимообмену культур, в том числе и в области архитектурного творчества, но суть ее политической функции, практически не менялась. Расцвет архитектуры стал возможен на почве мощного развития экономики России, которая в 1900 годы была одной из самых богатых стран мира.

Советская архитектура начала развиваться в иных условиях. В начале 20-х годов прошлого века, неприхотливость советских архитектурных форм символизировала демократические идеалы, но к середине 30-х годов уже возникла необходимость отразить идеи побеждавшего социализма. От этой эпо-

хи до нас сохранились некоторые оригинальные московские здания и еще целая группа, по-своему очень ярких, объектов. Началось строительство метрополитена, первая очередь которого вступила в действие в 1935 году, и открытие которого придавалось, почти сакральное значение [3, 106].

Советская архитектура предвоенного времени характеризуется величием архитектурного образа, парадной представительностью. Значимым толчком в развитие стиля этого периода сыграл конкурс, объявленный в начале 30х годов на разработку Дворца Советов в Москве. В 1939 г. началось его строительство. Эта грандиозная композиция 300-метровой высоты, должна была быть увенчана 100-метровой статуей В.И. Ленина. Строительство было прервано в связи с началом войны.

При восстановлении же целых городов после Великой Отечественной войны было уже не до изысков и пропорций, нужно было построить много, быстро и дешево. Так возник стиль конструктивизм. В то время было совершено много ошибок, было построено много одинаковых домов, городов и заводов, отличия между которыми обнаруживались лишь в географическом положении. Позже, на смену им в СССР, пришли масштабные проекты, такие как, знаменитые московские высотки, здания МГУ и МИДа, гостиниц «Ленинградская» и «Украина», жилых домов на Котельнической набережной и Красной Пресне. Эти сооружения сильно контрастировали с окружением внешним видом, размерами и монументальностью, чем и подчеркивалось политическая значимость советского строя и его достижений. Так сформировался архитектурный стиль, названный позднее сталинским конструктивизмом [4, 84]. Несмотря на неверное отношение к сталинскому ампиру, совершенно неуместно и безграмотно ассоциирующего его с тоталитаризмом, на сегодняшний день эти сооружения являются доказательством высоких достижений советской архитектуры 1930-1950 гг.

Наиболее одиозным проявлением влияния архитектуры на политическую действительность, является архитектура Германии времен Третьего Рейха. Гитлер отмечал на открытии архитектурной выставки: «...каждое значимое событие, обретает свое выражение в личных постройках. Народы переживают великие времена в себе, хотя данные времена начали проявлять себя и внешне. Со времен творения храмов мы действительно в первый раз видим здесь мощную и великую архитектуру, которая выходит далеко за рамки обыденности. У нее есть возможность вынести критическую проверку 1000-летья» [5, 141]. По сути, в этой фразе и раскрывается то влияние, которое отводилось архитектурному творчеству в реализации политических целей нацизма. Сам «основоположник» этой идеи часто делал зарисовки будущих грандиозных сооружений.

Руководитель нацистской партии считал, что Берлин станет мировой столицей, сравнимой лишь с Римом и Египтом, а монументальное значение огромных построек, обязано помочь германцу преодолеть собственную никчемность и почувствовать себя всевышним. Для Гитлера было совершенно ясно, что именно монументальная архитектура наилучшим образом подходит для того, чтобы донести до граждан - его воззрения, для покоренных народов — силу германских завоевателей, для будущих поколений - непреходящее величие нацизма.

Так, например, было решено построить вблизи от Рейхстага Дом собраний, с куполом в 250 метров и внутренней площадью в 38 тыс. кв. м, который бы мог вместить одновременно 150 тысяч человек. В этом, невиданном по масштабам здании, многократно уместился бы римский Собор Святого Петра. В 1937 году фюреру представили макет Купольного дворца, который по его мнению должен был стать символом Рейха. Главный нацист объяснял своим



придворным архитекторам, что размеры подобных зданий должны определяться средневековыми и сакральными представлениями, и во что бы то ни стало, превзойти Дворец Советов в Москве.

Недалеко от Южного вокзала в Берлине, самим Гитлером была спроектирована Триумфальная арка высотой 120 метров. Современники утверждают, что у него, при работе над этим эскизом, проявились все признаки одержимости. Гитлер непременно хотел того, чтобы арка превосходила по размаху все остальные строения в этой части города.

Да и сам Берлин – целый город с многомиллионным населением, планировалось принести в жертву политизированной архитектуре. Основной идеей было проектирование двух широких, пересекавшихся крест-накрест, улиц. При этом, нисколько не обращалось внимание на практическую сторону такой планировки и неудобства для жителей. Страсть к монументализму напрочь оставляла вне интереса автотранспортные развязки мегаполиса, его жилые кварталы и парки. Отдельные проекты нацистских архитекторов просто поражают своей дисфункциональностью. Так, Геринг приказал выстроить здание с фасадом длиной 240 метров, на крыше которого планировалось укоренить деревья и разбить парк на высоте 40 метров [6, 49].

Одним словом, нацистская архитектура, как никакая другая, была призвана выражать политическое и военное могущество фашизма на многие годы. Такая ее функция безраздельно доминировала над другими.

Данный небольшой ретроспективный анализ позволяет утверждать, что архитектура является не только органичным компонентом всей общественной культуры, но и специфическим элементом политической культуры, с принадлежностями ему, конкретными функциями в формировании политической реальности, которые в значительной мере превалируют над функциями архитектуры, в ее классическом понимании.

#### **Список цитированных источников**

1. Витрувий, Марк Поллион. Десять книг об архитектуре. – Л.: ОГИЗ, 1936.
2. Бархин, М.Г. Архитектура и город. – М.: Наука, 1979.
3. Архитектура канала Москва — Волга. — М.: Изд-во Академии архитектуры СССР, 1939.
4. Васьякин А. А. Сталинские небоскребы: от Дворца Советов к высотным зданиям. – М.: Спутник+, 2009.
5. Энциклопедия третьего рейха. – М.: Локид-Миф, 1996. – 424 с.
6. Васильченко А. В. Имперская тектоника. Архитектура III рейха/ А. В. Васильченко. – М : Вече, 2010. – 376 с.

УДК 727 : 373

*Щербо Е.Н., Петросюк А.С.*

*Научный руководитель: ст. преподаватель Кароза А.И.*

## **БЕЗБАРЬЕРНАЯ СРЕДА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ**

Цель работы – изучить соответствие нашего университета требованиям по безбарьерной среде и на основе зарубежного опыта предложить варианты по созданию её для инвалидов. Ведь именно создание безбарьерной среды позволяет людям с инвалидностью, пользоваться окружающим пространством

независимо от чьей-либо помощи, даёт возможность участвовать в общественной, производственной, культурной и спортивной сферах жизни страны, получить достойное образование и квалифицированную работу, вести полноценную и насыщенную жизнь.

### **Общие требования, для создания безбарьерной среды.**

Для обеспечения нормальной жизнедеятельности и работы инвалидов в разнообразных организациях и учреждениях должна организовываться безбарьерная среда. Инвалиды делятся на две категории: с нарушением опорно-двигательного аппарата и с нарушением органов слуха и зрения. В соответствии с этим для каждой категории должны быть установлены специальные конструкции и устройства. Для инвалидов с нарушением опорно-двигательного аппарата - подъемники, специальные грузовые лифты, пандусы и подъемные ramпы для инвалидных колясок. Подобные приспособления предоставляют инвалидам возможность свободно перемещаться между этажами зданий, что существенно упрощает их жизнь. Вертикальные подъемники для инвалидов давно стали стандартом в подавляющем большинстве цивилизованных стран. Они совершенно безопасны для людей и передвигаются на малой скорости, что позволяет полностью исключить случайное переворачивание инвалидной коляски.

Для инвалидов с нарушением органов слуха и зрения - информирующие обозначения отдельных помещений и функциональных зон внутри здания следует дублировать рельефными знаками и размещать рядом с входной дверью, со стороны дверной ручки. Знаки и символы должны быть контрастного цвета относительно фона: светлые знаки - на темном фоне или темные знаки - на светлом фоне. Высота и ширина знака или символа должна соответствовать расчетному расстоянию распознавания: для расстояния до 20 м - не менее 0,3 м; для расстояния 100 м - не менее 1,5 м. Размеры знаков или символов, которые могут восприниматься с расстояний, имеющих промежуточные значения, следует определять линейной интерполяцией. Визуальную информацию следует располагать:

- о доступном входе - на высоте не менее 1,4 и не более 1,6 м;
- о размещении мест обслуживания и отдыха - на высоте до 2,5 м в зонах движения;
- о направлениях движения в здании - на высоте до 2,5 м в зонах движения;
- о доступной уборной или душевой кабине - рядом с дверью на высоте не менее 1,4 и не более 1,6 м со стороны дверной ручки.

Визуальная информация должна быть продублирована тактильной информацией в зоне видимого горизонта пути движения на высоте не менее 1,2 и не более 1,6 м.

### **Зарубежный опыт создания безбарьерной среды в образовательных учреждениях**

Нас, как архитекторов, интересует как организовывается безбарьерная среда в развитых странах Европы, в США. В Европе и Америке можно обнаружить наличие самых разнообразных приспособлений, помогающих инвалидам вести полноценный образ жизни (это разного вида пандусы, особые лифты в домах и подъемники в метро, специально оборудованные автобусы, стоянки для инвалидов и т.п.). Такое положение вещей обусловлено тем, что в развитых странах работа по адаптации среды для этих групп населения ведется уже очень давно. Так, в Великобритании ныне действующий закон об инвалидах был принят еще в 1944 году. Этот документ положил начало нормативно-законодательной базе построения безбарьерной среды, которая в дальнейшем совершенствовалась и

расширялась. В 1975 году ООН приняла Декларацию о правах инвалидов, а затем появилось еще несколько документов международного уровня.

**Дом Музыки в Финляндии** оборудован для всех групп людей с ограниченными возможностями. Там существует специальная система навигации - в здании проложены направляющие полосы по полу, а все инфо-таблички дублированы на шрифте Брайля. Кроме того, в вестибюле есть тактильная карта здания и даже предусмотрено место для отдыха собак-поводырей.

**Образовательный центр IIRIS**, который был спроектирован специально для слепых, слабовидящих и слепоглухих посетителей. Центр существует под девизом «Все услуги под одной крышей». Здание имеет простой и хорошо запоминающийся план – при входе его можно изучить с помощью тактильной карты, созданной специально для центра японским архитектором Нао Сайто (Naо Saito).

**Начальная школа в г. Дюссельдорфе**, осуществляющая инклюзивное образование. В школе создана безбарьерная среда для всех категорий детей с ограниченными возможностями здоровья: отсутствуют ступени при входе в здание школы, широкие дверные проемы, выполнена ориентировочная разметка для учащихся с нарушениями зрения, а для предотвращения переутомления детей, обеспечения коррекционной работы, психологического комфорта, создана комната психологической разгрузки.

**Дортмундский центр инвалидности и высшего образования.** Этот Центр обеспечивает образованием, необходимым оборудованием, консультациями и содействием в трудоустройстве 1000 студентов-инвалидов Дортмундского университета, но и проводит исследования, направленные на совершенствование городской инфраструктуры Дортмунда, ее приспособлению к нуждам маломобильных групп населения.

**Для сравнения:** в Беларуси на данный момент существуют лишь обрывочные, эпизодические вкрапления элементов, облегчающих передвижение инвалидам. Например, пандусы для инвалидных колясок позволяют колясочнику беспрепятственно заехать в образовательное учреждение. Но как он доберется до самого здания, ведь ни выехать из своего дома, ни совершить поездку в автобусе, ни пересечь проезжую часть люди этой категории не имеют возможности. Однако есть и положительные моменты. В Гродно открылась новая средняя школа № 38, в которой создана безбарьерная среда. Для учеников оборудованы специальные лифты, кабинки в туалетах и т.д. Пока в школе обучается только 2 ребенка с инвалидностью. Всего по стране работает более 10 подобных школ. Безбарьерная среда в учреждениях общего среднего образования Республики Беларусь насчитывает более 10 школ (Минск, Витебск, Гомель, Гродно). Однако это только начало. Работу по созданию безбарьерной среды в учреждениях образования необходимо продолжать.

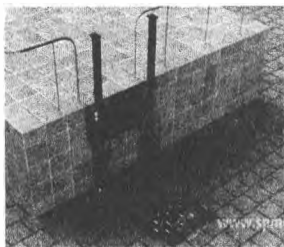
**Отечественный опыт создания безбарьерной среды на примере Брестского государственного технического университета.**

В рамках научной работы был проведен анализ устройства безбарьерной среды в БрГТУ. Был рассмотрен путь потенциального инвалида от стоянок университета, через главные входы в учебные корпуса и к основным помещениям университета, которыми пользуются студенты. В данном учреждении образования предусмотрены пандусы у главных входов, присутствует информирующие обозначения красного цвета на дверях. Но существует ряд несоответствий с требованиями ТКП: Уклон пандуса: 1:12 или 8% (а должен быть не более 5%), длина горизонтальной площадки: 1,5 м (а должна не менее 1,8 м), высота расположения маркировки – 1 м (а должна не ниже 1,2 и не выше 1,5), отсутствие металлических уголков для съезда с пандуса, двух горизонтальных

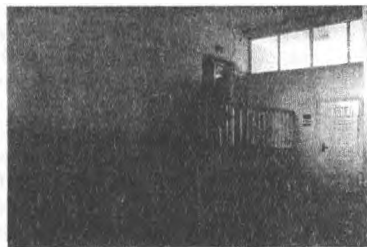
площадок, при длине пандуса более 6м. Нет парковочных мест для инвалидов-колясочников, существует превышение высоты бордюров – 15см (должно быть не более 5 см), не обеспечена информационная среда (указатели, тактильные полосы и др.), отсутствуют туалеты, оборудованные для инвалидов, лестницы не дублируются пандусами и подъемниками или лифтами, на пути в библиотеки, столовую имеются ступени, в поточных аудиториях не предусмотрены места для инвалидов-колясочников.

Поэтому для улучшения безбарьерной среды мы предлагаем ряд решений:

1. Создание предупредительной полосы перед пандусом длиной 0.8м, контрастирующей по цвету с поверхностью земли.
2. Создание покрытия над пандусом для защиты от атмосферных осадков.
3. Первую и последнюю ступени марша, а также соответствующие им участки поручней обозначить тактильной полосой и окраской контрастирующего цвета.
4. Контрастная окраска ступеней: светлые проступи, темные подступенки, использование подсветки ступеней.
5. Длина поручней больше длины пандуса не менее чем на 0,3м.
6. Металлический уголок для съезда с пандуса
7. Создание 2 горизонтальных площадок (более 6 м пандус устраивается с горизонтальными площадками)
8. Необходимость устройства ограждения в начале пандуса
9. Создание вертикальной платформы при входе в библиотеку и в столовую. В закрытом состоянии платформа занимает минимальное пространство. Открывается платформа только при необходимости подъема. Инвалид может использовать эти устройства самостоятельно, без участия посторонних или сопровождающих лиц.



**Рисунок 1 – пример вертикальной платформы**



**Рисунок 2 – вход в библиотеку**

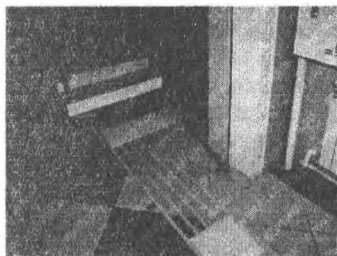
Выбирая модель подъемника для общественных зданий, массу инвалида с коляской принимают не менее 225 кг, масса сопровождающих – не менее 100 кг. Скорость движения – не более 0,15 м/с. Габариты в плане: сидя в инвалидном кресле с сопровождающим сбоку – 1100 x 1500 мм (ширина не менее 0,9м, а глубина не менее 1,5м).

10. Организация 2 машиномест для специального автотранспорта, управляемого инвалидом с нарушением функций опорно-двигательного аппарата или для транспорта, перевозящего такого инвалида, – 3,5'8,0 м., размещение парковочных мест для инвалидов должно быть не более 50 м от входа в здание. Понижение бордюра до требуемого ТКП размера в 5 см. Устройство пандуса на выходе с автомобильной парковки.

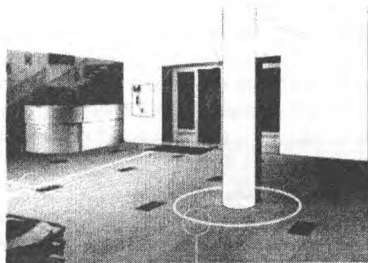
11. Ввиду отсутствия специализированных туалетов, мы предлагаем устройство двухстороннего туалета, который позволяет пользоваться в стан-

дартной позиции, а люди на инвалидном кресле смогут пользоваться им спиной к двери.

12. Устройство тактильных полос в фойе для обозначения пути и помощи при движении инвалидом по зрению, в местах поворота лестничных поручней и на дверях аудиторий рекомендуем устанавливать пластины с указанием номера этажа и аудитории, выполненные рельефными арабскими цифрами или знаками шрифтом Брайля.



*Рисунок 3 – пример устройства тактильных полос*



*Рисунок 4 – тактильные полосы в фойе гл. корпуса*

### **Заключение**

Не достаточно просто установить единичные пандусы для инвалидов колясок, чтобы сохранить социальную полноценность такой значительной части граждан страны, как инвалиды. Поэтому необходимо не останавливаться в развитии создания безбарьерной среды на достигнутом, а двигаться вперёд, ведь опыт Европы и Америки демонстрирует, что задача построения доступной среды становится вполне выполнимой, если проявить старание и добросовестность, а также правильно вложить средства. Нам следует поучиться у зарубежных коллег и элементарной любви к ближнему, без которой невозможно решить поставленную задачу действительно качественно.

### **Список цитированных источников**

1. Адаптация планировочных решений — новое направление в проектировании жилых зданий массового строительства [Электронный ресурс]. Дата доступа: 10.03.2015 -Режим доступа: [http://aupam.narod.ru/pages/zakonodatelstvo/adaptaciya\\_planirovochnihk\\_resheniy/oglavlenie.html](http://aupam.narod.ru/pages/zakonodatelstvo/adaptaciya_planirovochnihk_resheniy/oglavlenie.html)- Дата доступа: 10.03.2015
2. Доступность среды как норма жизни, [Электронный ресурс]. Москва 2013. – Режим доступа: <http://ais.by/story/73-> Дата доступа: 02.03.2015
3. Инклюзивное образование, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.39shkola.ru/book/export/html/555-> Дата доступа: 01.03.2015
4. Поездка в Хельсинки: дизайн для всех, [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://proarte.ru/events/poezdka-v-khelsinki-dizayn-dlya-vsekh/>- Дата доступа: 20.03.2015
5. Безбарьерная среда в зарубежных университетах, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.herzen.spb.ru/main/structure/fukultets/correct/1352194636/>- Дата доступа: 28.03.2015
6. ТКП 45-3.02-290-2013 «Общественные здания и сооружения. Строительные нормы проектирования».

УДК 528.4(711.1)

**Хевук А.В.**

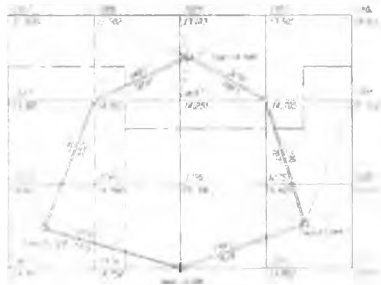
*Научный руководитель: Кандыбо С.Н.*

## ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА УЧАСТКА МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР AUTOCAD

Одной из первостепенных и основных задач инженерного благоустройства является вертикальная планировка, обеспечивающая допустимые уклоны улиц, дорог, проездов и территории для оптимального размещения зданий, промышленных предприятий и различных сооружений, обеспечение водоотведения ливневых, талых вод, систем ВИК. Преобразование существующего рельефа с целью приспособления городской территории для эксплуатации и строительства осуществляется на основании проекта вертикальной планировки. В современном градостроительстве к функциональным площадкам относят спортивные: гольфполя, автокартинги, стадионы и др., в парковых зонах: детские, аттракционные площадки, придорожный сервис: АЗС, автостоянки и др. В зависимости от местных условий и вида поверхности, проектирование вертикальной планировки выполняют методом проектных горизонталей, проектных отметок, профилей или комбинацией этих методов [1,2,3].

Метод проектных горизонталей позволяет наиболее полно отразить проектируемый рельеф и произвести планировку на всей территории с одинаковой степенью точности, что особенно важно при незначительных уклонах местности. Сущность метода состоит в том, что на план с геодезической подосновой, где показан (фактический) естественный рельеф в горизонталях и нанесены все проектные решения в плане, наносят проектные горизонтали, отображающие проектный рельеф. В зависимости от рельефа и масштаба составляемого плана, высоту сечения проектных горизонталей устанавливают равной 0,1; 0,2; 0,5 м. Преимуществом данного метода является совмещение горизонтального и вертикального решений, что обеспечивает наглядность проектного документа и упрощает подготовку и производство геодезических разбивочных и строительных работ.

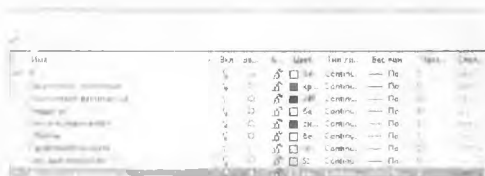
При вертикальной планировке наиболее проблематичный фактор — перемещение грунта. В настоящее время, наряду с традиционными методами проектирования, все шире применяются системы автоматизированного проектирования. Для автоматизации процессов проектирования используют системы автоматизированного проектирования (САПР) GeoniCS, AutoCAD Civil 3D или систему CREDO. Объемы программного комплекса CREDO



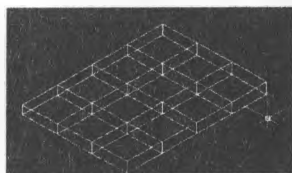
**Рисунок 1** – *Схема-журнал нивелирования по квадратам с исходными данными и вычисленными отметками*

Исходными данными для вертикальной планировки площадок функционального назначения служат материалы топографических съемок (в том числе, результаты нивелирования поверхности по квадратам или профилям) или координаты и высоты точек, полученные с цифровой модели местности (ЦММ). В качестве исходных данных будем использовать материалы нивелирования поверхности по квадратам (рис. 1) со стороной квадрата 40 м с вычисленными отметками вершин.

Рассмотрим решение вертикальной планировки с использованием САПР Autodesk AutoCAD 2014. После запуска программы, выбираем пункт меню Слои «Свойства слоёв» создаем следующие слои (рис.2): горизонтали проектные; горизонтали фактические; квадраты; линия нулевых работ; объёмы; проектная плоскость; фактическая поверхность; секущие плоскости.

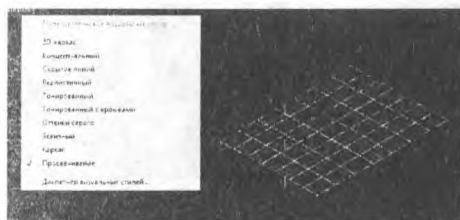


**Рисунок 2 – Создание слоёв**

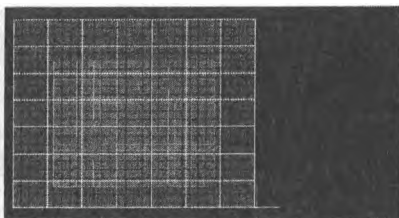


**Рисунок 3 – Создание фактической поверхности земли**

В слое «Квадраты» строим сетку с заданной стороной квадратов, с привязкой угла сетки к принятой системе координат. Для создания фактической поверхности земли, перейдём в режим отображения «ЮЗ-Изометрия», и используя инструмент «Отрезок», отложим высоты всех углов всех квадратов (рис.3). Далее соединяем вершины полученных отрезков с помощью инструмента «Сплайн» поочерёдно в разных направлениях. Для создания поверхности выбираем инструмент «Сетевая поверхность» из вкладки «Поверхность» и выделим все построенные «сплайны». Для удобства восприятия можно перейти в визуальный стиль «Просвечивание»: (рис. 4).



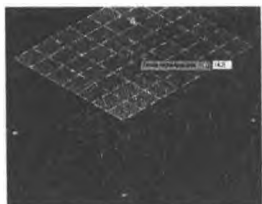
**Рисунок 4 – Отображение фактической поверхности**



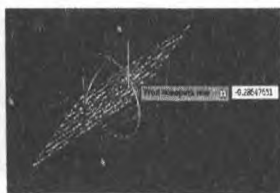
**Рисунок 5 – Создание проектной плоскости**

Для создания проектной плоскости с заданным уклоном делаем активным слой «Проектная плоскость» и строим поверхность так, чтобы ее центр совпал с центром построенной сетки квадратов (рис.5). Пусть необходимо запроектировать наклонную площадку с продольным и поперечным уклоном 5% с соблюдением баланса земляных работ. Вычислим угол наклона площадки

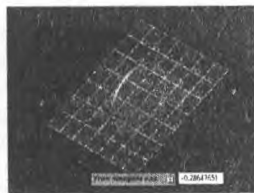
$\nu = \arctg(0,005) = 0.28647651^\circ$  и отметку центра тяжести фактической поверхности, например  $H_{цт} = 14,20$  м. В том, случае если наклонная (или горизонтальная) площадка проектируется без учета баланса земляных работ, проектная отметка выбирается в зависимости от фактических элементов рельефа с учетом взаимной увязки элементов ситуации и рельефа. Переходим в вид «ЮЗ-Изометрия», выделяем созданную плоскость и нажимаем левой кнопкой мыши по вертикальной стрелке «гизмо», отводим указатель мыши вверх и вводим высоту центра тяжести фактической поверхности земли  $H_{цт}$ , нажимаем «Enter» (рис.6). Далее выбираем инструмент «3D-поворот» и поворачиваем плоскость на необходимый угол в продольном и поперечном направлениях (рис.7). Преимуществом такого метода проектирования является наглядность построения наклонной площадки.



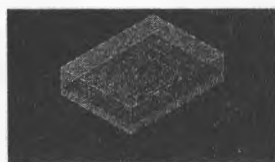
**Рисунок 6 – Совмещение отметки центра тяжести поверхности**



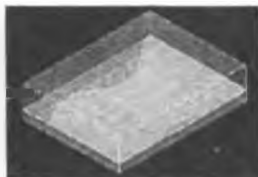
**Рисунок 7 – Поворот проектной плоскости в продольном и поперечном направлениях**



Для вычисления объемов земляных работ делаем активным слой «Объём» и с помощью инструмента «Ящик» создадим параллелепипед с основанием равным стороне сетке квадратов (рис.8). Далее выбираем инструмент «Сечение» и последовательно, используя в качестве секущих плоскостей проектную и фактическую поверхности, отсекаем верхнюю и нижнюю часть параллелепипеда (рис.9). Далее удаляем верхнюю и нижнюю части параллелепипеда и для наглядности обозначаем выемку и подсыпку различными цветами (рис.10).



**Рисунок 8 – Создание параллелепипеда**



**Рисунок 9 – «Отсечение» параллелепипеда**



**Рисунок 10 – Отображение выемки и подсыпки**

Для вычисления объема подсыпки введём с клавиатуры команду «МАССХАР», нажимаем «Enter», выделяем насыпь и также нажимаем «Enter». Объем подсыпки отобразится в окне характеристик (рис.11). Аналогичные действия выполняются для расчета объема выемки.

Эффективность работ по вертикальной планировке определяют следующие технико-экономические показатели [1,2].



- наименьший объем земляных работ при наибольшей эффективности проектных решений;

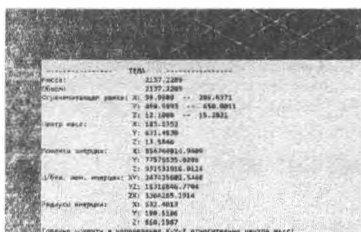
- одинаковый объем выемки и подсыпки (баланс земляных масс), когда отпадает необходимость в вывозе грунта с планируемой территории или привозе его;

- при подсчете баланса объем выемки умножают на коэффициент остаточного разрыхления грунта, который равняется 1.01-1.025- для песчаных грунтов, 1.015-1.05 - для суглинистого грунта и 1.04-1.09- для глинистых грунтов. Разница не должна превышать 4-5% объема выемки и подсыпки

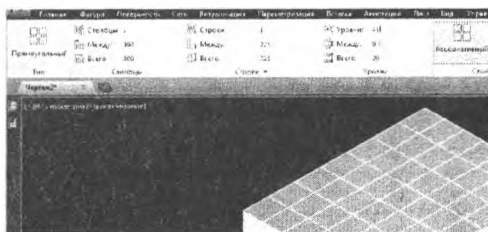
- сокращение дальности перемещения грунта (транспортного объема) с участков выемки и подсыпки.

Основными документами проекта вертикальной планировки являются план организации рельефа и картограмма земляных работ.

Для построения фактических и проектных горизонталей, а также линии нулевых работ необходимо создать вспомогательную поверхность в текущем слое «Секущие плоскости» с помощью инструмента «Плоская поверхность», совпадающую по размерам с сеткой квадратов. Далее при помощи инструмента «Прямоугольный массив» на вкладке «Главная» необходимо установить следующие значения: «Столбцы: 1» и «Строки: 1», в колонке «Уровни» значение «Между» равно высоте сечения рельефа (в нашем случае «Между: 0 5), значение «Уровни» установим такое, чтобы значение «Всего» было больше отметок всех точек наших поверхностей (рис. 12).



**Рисунок 11 – Вычисление объема подсыпки**



**Рисунок 12 – Установка значений прямоугольного массива**

Далее в текущем слое «Фактические горизонталей» выбираем инструмент «Извлечь пересечения» между созданным массивом секущих плоскостей и фактической поверхностью. Аналогично строят проектные горизонталей и линию нулевых работ.

Для создания плана организации рельефа на вкладке «Лист 1», задаем нужный масштаб, например, 1:1000: в AutoCAD следует выбрать 1:1 (т.к. по умолчанию рабочее пространство в AutoCAD измеряется миллиметрами). В экране вида «заморозим» ненужные слои и при помощи инструмента «Однорочный текст» подпишем горизонталей (рис. 13.) и зарамочное оформление в соответствии с условными знаками. Для построения картограммы земляных работ на вкладке «Лист 2» выполняю аналогичные действия, и подписываю расстояния до точек нулевых работ от вершин квадратов с помощью инструмента «Линейный» (рис. 14.) [4].



**Рисунок 13 – Создание плана организации рельефа**



**Рисунок 14 – Создание картограммы земляных работ**

**Список цитированных источников**

1. СТБ 2073-201 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения чертежей генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов. - 40 с.
2. СНБ 3.01.04-02 Градостроительство. Планировка и застройка населенных пунктов. – Мн., 2002.
3. Леонтович В.В. Вертикальная планировка городских территорий. М.: Высш. шк., 1985. – 119 с.
4. Полещук, Н.Н. Самоучитель AutoCAD 2014. БХВ-Петербург, 2014. – 464 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРОБЛЕМЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Кузьмич Е.И.**

*Научный руководитель: доцент, к.т.н. Шешко Н.Н.*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ  
В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ..... 4

**Кучинская Е.Н.**

*Научный руководитель: старший преподаватель Нагурный С.Г.*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННЫХ АЭРАТОРОВ В АЭРОТЕНКАХ ..... 11

**Пилюттик Н.А.**

*Научный руководитель: ассистент Новосельцева А.Г.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УДАЛЕНИЯ ФОСФАТОВ ИЗ СТОЧНЫХ  
ВОД ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
В КАЧЕСТВЕ РЕАГЕНТА ОСАДКОВ СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ..... 14

**Протасевич А.Е., Санюкович Ю.А.**

*Научный руководитель: ст. преподаватель каф. НГ и ИГ Яромич Н.Н.*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО СООРУЖЕНИЯ И ПОДСЧЕТ  
ОБЪЕМОВ ЗЕМЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ..... 18

**Цеван А.В., Артющик Д.С.**

*Научный руководитель: ст. преподаватель кафедры НГ и ИГ Шевчук Т.В.*

РАЗБЁРКИ ВОЗДУХОВОДОВ. ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ ..... 22

**Чайкова Н.А.**

*Научный руководитель: доцент, кандидат технических наук Глушко К.А.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО РАСХОДА СБРОСНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ ..... 25

**Шпока Д.А.**

*Научный руководитель: д.г.н., проф. Волчек А.А.*

ГОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ  
БЕЛУССКОГО ПОЛЕСЬЯ И ПООЗЕРЬЯ ..... 29

### ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Антоник И.А.**

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

МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОНИКИ ..... 35

**Бабич И.В., Бакунович И.Д.**

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

МНОАГЕНТНЫЙ ПОДХОД В РЕШЕНИИ ДОРОЖНЫХ ПРОБЛЕМ ..... 38

**Богданович Д.И., Волчик А.А.**

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

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОРЦОВОГО  
УПЛОТНЕНИЯ С РЕЗЕРВНЫМ УЗЛОМ ЗАЩИТЫ ..... 41

**Голодко А.А., Кондрашук И.В.**

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

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ ВЫГОДНЫХ  
МАРШРУТОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ГОРОДЕ ..... 45

**Гутников В. С.**

*Научный руководитель: ст. преподаватель Тузык И.В.*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ КОНЪЮНКЦИИ  
ДВУХ ПЕРЕМЕННЫХ В ОДНОЭЛЕМЕНТНОМ БАЗИСЕ ..... 46

<b>Данильчик Р.А.</b> <i>Научный руководитель: ст. пр. Анфилец С.В.</i> ВЛИЯНИЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ НА УСЛОВИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ .....	49
<b>Дмитрашица С.Г., Матас Л.И.</b> <i>Научный руководитель: доцент Кефанов В.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЛАЙН-ФУНКЦИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОМОГРАММ В СИСТЕМЕ MATHCAD .....	51
<b>Евтух А.В.</b> <i>Научный руководитель: ст. пр. Касьяник В.В.</i> СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ И ПЕШЕХОДНЫХ ПОТОКОВ .....	55
<b>Лятий О.О., БрГТУ, г. Брест</b> <i>Научный руководитель: Костюк Д.А., к.т.н., доцент</i> ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ МОНИТОРИНГУ КРОВЯНОГО ДАВЛЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ЗВМ .....	57
<b>Лятий О.О., БрГТУ, г. Брест</b> <i>Научный руководитель: Костюк Д.А., к.т.н., доцент</i> УСТРОЙСТВО КОМПЬЮТЕРНОГО МОНИТОРИНГА ПУЛЬСА ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO .....	62
<b>Медведский К.И.</b> <i>Научный руководитель: проф. Муравьев Г.Л.</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ, МОДЕЛЕЙ, СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ ОПИСАНИЙ СИСТЕМ .....	66
<b>Медведский К.И.</b> <i>Научный руководитель: проф. Муравьев Г.Л.</i> ФОРМАТЫ СПЕЦИФИКАЦИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ GPSS-КОДОВ .....	71
<b>Мешко Е.Э.</b> <i>Научный руководитель: доцент Дунай А.П.</i> ПРОБЛЕМАТИКА ПОСТРОЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ .....	75
<b>Семашкевич И.Д.</b> <i>Научный руководитель: ст. преп. Русакова З.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОННЫХ ПУЧКОВ В СИСТЕМАХ МИКРОЛИНЗ .....	77
<b>Сосновский М.С., Цибинов К.А.</b> <i>Научный руководитель: к.м.н., доцент Шуть В.Н.</i> ПОИСК НЕГАМИЛЬТОНОВЫХ КУБИЧЕСКИХ ПЛОСКИХ ГРАФОВ .....	80
<b>Суховей А.С.</b> <i>Научный руководитель: профессор В.А. Головако</i> ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ГЛУБОКОГО ДОВЕРИЯ .....	81
<b>Липовцева А.П.</b> <i>Научные руководители: к.т.н., доцент Махнист Л.П., и ф. м.н., доцент Каримова Т.И.</i> О МОМЕНТАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУАССОНА И НЕКОТОРЫХ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ .....	87
<b>Рудский Р.А.</b> <i>Научный руководитель: к.ф. м.н., доцент Швычкина Е.Н.</i> РЕШЕНИЕ ОДНОМЕРНОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ МЕТОДОМ ДАЛАМБЕРА .....	92
<b>ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА</b>	
<b>Власовая А.А.</b> <i>Научный руководитель: доцент Прикляня О.Н.</i> УПРОЩЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ СИНТЕЗЕ МЕТОДОМ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛЮСОВ .....	96

**Жук А.С.**  
*Научный руководитель: к.т.н., доцент Горбунов В.П.*  
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ВИНТ-ГАЙКА СКОЛЬЖЕНИЯ ..... 100

**Ниничук А.В.**  
*Научный руководитель: к.т.н., доцент Медведев О.А.*  
АНАЛИЗ ПРИЕМЛЕМОСТИ ПРИГОНОЧНЫХ РАБОТ  
ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МАШИН..... 103

**Рудский Р.А., Конюхов Д.А.**  
*Научный руководитель: старший преподаватель Морозова В.А.*  
3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ДВИГАТЕЛЯ  
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В ГРАФИЧЕСКОМ РЕДАКТОРЕ AUTODESK INVENTOR 2015 ..... 108

**Трофимов А.О.**  
*Научный руководитель: к.т.н., доцент Монтик С.В.*  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ОЦЕНКИ ПРОЕКТОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ..... 111

**Филатов В.С.**  
*Научный руководитель: ст. преподаватель Кудрицкий Я.В.*  
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТАРНОГО  
МАРШРУТА ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ..... 115

#### ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА АРХИТЕКТУРЫ

**Алексеев Т.Ю.**  
*Научный руководитель: Игнатюк В.И.*  
К РАСЧЕТУ СИСТЕМ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК МЕТОДОМ  
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА НЕПОДВИЖНЫЕ НАГРУЗКИ ..... 120

**Алексеев Т.Ю.**  
*Научный руководитель: Игнатюк В.И.*  
КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА УСИЛИЙ В СИСТЕМАХ ПЕРЕКРЕСТНЫХ  
БАЛОК С УЧЕТОМ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ..... 124

**Алексеев Т.Ю.**  
*Научный руководитель: Игнатюк В.И.*  
ДЕФОРМИРОВАНИЕ КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ ПЕРЕКРЕСТНЫХ  
БАЛОК, УПРУГО-ПОДАТЛИВО ПРИСОЕДИНЕННОГО К УЗЛАМ ..... 128

**Бзкукин Н.В., Дьякончук А.С.**  
*Научный руководитель: ст. преподаватель Полюхович А.А.*  
ПРИЧИНЫ НАРУШЕНИЯ РАБОТЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ  
В МНОГOKВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМАХ ПУТИ РЕШЕНИЯ ..... 132

**Божко А.А.**  
*Научный руководитель: Игнатюк В.И.*  
РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ И ЗАКОНЫ ДИАЛЕКТИКИ..... 137

**Веренич А.А.**  
*Научный руководитель: доц. Зинкевич И.В.*  
ВЛИЯНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ  
ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОФОРМОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ..... 140

**Винник А.Н., Борисевич Р.В.**  
*Научный руководитель: зав. кафедрой НГИИГ Винник Н.С.*  
КРИВЫЕ В АРХИТЕКТУРНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ..... 144

<b>Горбач В.В., Кунцкая Е.В.</b> <i>Научный руководитель: доцент Фоменко С.Ф.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ПЛАНИРОВКУ ЖИЛОЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ МИКРОРАЙОНА «ЮГО-ЗАПАД №4» .....	148
<b>Журныкина И.С., Климух Ю.С.</b> <i>Научный руководитель: ассистент Ковенько Ю.Г., ст преподаватель Давыдки А.И.</i> РЕСИПРОКАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ .....	153
<b>Игнатюк Т.В.</b> <i>Научный руководитель: проф. Чернишван В.Н.</i> К ВОПРОСУ НОРМИРОВАНИЯ ЗАТРАТ ТРУДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ МЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ .....	155
<b>Марчук И.Н.</b> <i>Науч. руководители: к.т.н., проф. Уласевич В.П.; маг. т.н., ассист. Жданов Д.А.</i> К АВТОМАТИЗАЦИИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВНЫХ СЕЧЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ .....	158
<b>Мяцкевич Ю.Н.</b> <i>Научный руководитель: доц. Зинкевич И.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УЗЛОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ТОНОСТЕННЫХ ХОЛОДНОФОРМОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	162
<b>Миляшук Е.С.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Кузьмич П.М.</i> ЗАВИСИМОСТЬ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОТ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УРОВНЯ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ .....	166
<b>Мирончук В.С., Павлюкович Д.А.</b> <i>Научный руководитель: зав кафедрой НГИИГ Винник Н.С.</i> МЕТОДЫ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КРЫШАМ ЗДАНИЙ .....	169
<b>Мирончук В.С., Юркевич И.В.</b> <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент Шалобыта Т.П.</i> ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ НАРУЖНЫЕ СТЕНЫ ЖИЛЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ .....	173
<b>Павлючик А.В., Онищук С.В.</b> <i>Научный руководитель: старший преподаватель Омель Д.В.</i> КИНЕТИЧЕСКАЯ СКУЛЬПТУРА В КОМПАС 3D .....	177
<b>Практика А.О.</b> <i>Научный руководитель: Мартысюк Н.А.</i> ЭКСКАРХИТЕКТУРА В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ: ОПЫТ СТРАН ЗАРУБЕЖЬЯ .....	181
<b>Прокопович М.А., Лещенко Е.А.</b> <i>Научный руководитель: Мартысюк Н.А.</i> ПОНЯТИЕ ЭКСАРХИТЕКТУРА И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ .....	185
<b>Савчук М.В.</b> <i>Научные руководители: доц. Пчелин В.Н., доц., к.т.н. Юськович В.И.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТЕПЛЕНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН МЕТОДОМ «ТЕРМОШУБА» .....	188
<b>Свячук М.В.</b> <i>Научные руководители: доц. Пчелин В.Н., доц., к.т.н. Юськович В.И.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТЕПЛЕНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН ПОМЕЩЕНИЙ С МОКРЫМ И ВЛАЖНЫМ РЕЖИМОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ .....	191
<b>Собешук С.И., П-327</b> <i>Научный руководитель: доц. Срывкина Л.Г.</i> ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СМЕТНОЙ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВАНИИ НРР-2012 .....	194

<b>Станчук В.В.</b> <i>Научный руководитель: ассистент Козловский Д.С.</i> МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ПРОЦЕССОМ ОТРАЖЕННОГО ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ С ЖЕСТКИМИ ДОРОЖНЫМИ ОДЕЖДАМИ.....	199
<b>Струц А.В.</b> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Коняев П.Н.</i> РЕНОВАЦИЯ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ 50-Х ГОДОВ ХХ ВЕКА.....	202
<b>Суровщикова А.И., Беломесова К.Ю.</b> <i>Научный руководитель: Пикула А.И.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКЗОТЕРМИИ НАПРЯГАЮЩЕГО ЦЕМЕНТА.....	205
<b>Суровщикова А.И., Беломесова К.Ю.</b> <i>Научный руководитель: д.т.н., проф. Тур В.В.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА, АРМИРОВАННОГО СТАЛЬНОЙ И БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРОЙ.....	210
<b>Талагаева Н.А., Гетман У.А.</b> <i>Научный руководитель: доцент Жминько М.М.</i> ОСОБЕННОСТИ И ВАРИАНТЫ РЕСТАВРАЦИИ УСАДЕБНОГО ДОМА НЕМЦЕВИЧЕЙ В Д.СКОКИ.....	215
<b>Тур А.В.</b> <i>Научные руководители: доцент, к.х.н. Голуб Н.М, доцент, к.т.н. Тур Э.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ И ПОКРАСОЧНЫХ СОСТАВОВ РЕСТАВРИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПО УЛ. СОВЕТСКОЙ В Г. БРЕСТЕ (СОВЕТСКАЯ, 43-45).....	218
<b>Хурс С.Н.</b> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Ширяева Л.А.</i> ФЕНОМЕН ФОРМЫ НЕЛИНЕЙНОЙ АРХИТЕКТУРЫ.....	222
<b>Царук О.Г.</b> <i>Научный руководитель: кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительных конструкций, Шалобыта Н.Н.</i> К АНАЛИЗУ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ СО СМЕШАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ.....	227
<b>Цуба А.М.</b> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Коняев П.Н.</i> РАЗВИТИЕ АРХИТЕКТУРЫ ЛИНСКА ВО ВРЕМЯ ПОЛЬСКОГО ПЕРИОДА (1921-1939гг.).....	234
<b>Супрунюк В.В., Чарыева Г.В.</b> <i>Научный руководитель: доцент Данилов Ю.Д.</i> АРХИТЕКТУРА – КАК ФЕНОМЕН ПОЛИТИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ.....	238
<b>Щербо Е.Н., Петросюк А.С.</b> <i>Научный руководитель: ст. преподаватель Кароза А.И.</i> БЕЗБАРЬЕРНАЯ СРЕДА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ.....	241
<b>Хевук А.В.</b> <i>Научный руководитель: Кандыбо С.Н.</i> ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА УЧАСТКА МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР AUTOCAD.....	246

Научное издание

# СБОРНИК КОНКУРСНЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ

Часть I

Ответственный за выпуск: *Рубанов В.С.*

Редактор: *Боровикова Е.А.*

Компьютерная вёрстка: *Соколюк А.П.*

Текст печатается в авторской редакции

ISBN 978-985-493-333-7



9 789854 933337

Издательство БрГТУ

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.

Подписано к печати 13.07.2015 г.

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага «Performer». Гарнитура «Arial».

Усл. п. л. 14,88. Уч.-изд. л. 16,0.

Тираж 40 экз. Заказ № 679.

Отпечатано на ризографе Учреждения  
образования «Брестский государственный  
технический университет»

224017, Брест, ул. Московская, 267

368038