

Министерство образования и науки Украины  
Национальная академия природоохранного и курортного строительства

# **СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Сборник научных трудов

Выпуск 51

## **БУДІВНИЦТВО ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

Збірник наукових праць  
Випуск 51

Зарегистрирован 21.11.2005 г. серия КВ № 10650 Государственным комитетом информационной политики, телевидения и радиовещания Украины.

Постановлением президиума ВАК Украины от 08.07.2009 г. №1-05/2 включен в перечень научных специализированных изданий Украины, в которых могут публиковаться основные результаты диссертационных работ на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (области наук: архитектура, технические науки).

Симферополь  
«Национальная академия природоохранного  
и курортного строительства»  
2014

УДК 69; 71  
ББК 38

Збірник наукових праць  
«Будівництво та техногенна безпека»

Збірник включає статті науковців України, у яких висвітлені результати фундаментальних та прикладних наукових досліджень у галузі будівництва та техногенної безпеки.  
Для наукових працівників, аспірантів та спеціалістів у галузі будівництва та архітектури.

Редакційна колегія:

Ажермачов Г.А., канд. техн. наук, Бекіров Е.А., докт. техн. наук, Боровський Б.І., докт. техн. наук, Бугаєвський Г.М., докт. фіз.-мат. наук, Ветрова Н.М., докт. техн. наук, Дворецкий О.Т., докт. техн. наук, Зайцев О.М., докт. техн. наук, Захаров Р.Ю., канд. техн. наук (відповідальний секретар), Лінченко Ю.П., канд. техн. наук, Любомирський М.В., канд. техн. наук, (заст. головного редактора), Морозов О.Д., канд. техн. наук, Нагаєва З.С., докт. архітектури, Ніколенко І.В., докт. техн. наук, Пашенцев О.І., докт. екон. наук, Саломатін В.М., докт. геол.-мін. наук, Сапронова З.Д., канд. геол.-мін. наук, Сіроджа І.Б., докт. техн. наук, Стоянов В.У., докт. техн. наук, Чемодуров В.Т., докт. техн. наук, Федоркін С.І., докт. техн. наук, (головний редактор), Шаленний В.Т., докт. техн. наук, (заст. головного редактора), Ячменьова В.М., докт. екон. наук

Затверджено до друку згідно протоколу засідання вченої ради НАПКБ № 2 від 30.10.2014 р.

Адреса редакції: 95006 м. Сімферополь, вул. Павленко, 3, НАПКБ, корпус 2, к. 410,  
E-Mail: [rio@napks.edu.ua](mailto:rio@napks.edu.ua)

© Національна академія  
природоохоронного та  
курортного будівництва,  
2014

Сборник научных трудов  
«Строительство и техногенная безопасность»

Сборник включает статьи ученых Украины, в которых освещены результаты фундаментальных и прикладных научных исследований в области строительства и техногенной безопасности.  
Для научных работников, аспирантов и специалистов в области строительства и архитектуры.

Редакционная коллегия:

Ажермачёв Г.А., канд. техн. наук, Бекиров Э.А., докт. техн. наук, Боровский Б.И., докт. техн. наук, Бугаевский Г.Н., докт. физ.-мат. наук, Ветрова Н.М., докт. техн. наук, Дворецкий А.Т., докт. техн. наук, Зайцев О.Н., докт. техн. наук, Захаров Р.Ю., канд. техн. наук (ответственный секретарь), Линченко Ю.П., канд. техн. наук, Любомирский Н.В., канд. техн. наук (зам. главного редактора), Морозов А.Д., канд. техн. наук, Нагаева З.С., докт. архитектуры, Николенко И.В., докт. техн. наук, Пашенцев А.И., докт. екон. наук, Саломатин В.Н., докт. геол.-мин. наук, Сапронова З.Д., канд. геол.-мин. наук, Сироджа И.Б., докт. техн. наук, Стоянов В.У., докт. техн. наук, Чемодуров В.Т., докт. техн. наук, Федоркин С.И., докт. техн. наук, (главный редактор), Шаленный В.Т., докт. техн. наук, (зам. главного редактора), Ячменева В.М., докт. екон. наук

Утвержден к печати согласно протокола заседания ученого совета НАПКБ № 2 от 30.10.2014 г.

**Статті публікуються в авторській редакції**

Адрес редакции: 95006 г. Симферополь, ул. Павленко, 3, НАПКБ, корпус 2, к. 410,  
E-mail: [rio@napks.edu.ua](mailto:rio@napks.edu.ua)

© Национальная академия  
природоохранного и  
курортного строительства,  
2014

# СОДЕРЖАНИЕ

## РАЗДЕЛ 1.

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Шаленный В.Т., Сироджа И.Б.,  
Ванюшкин А.С. Зависимость скорости принудительной карбонизации  
известки от давления углекислого газа 5
- Любомирский Н.В., Шаленный В.Т., Ванюшкин А.С., Шуляк Е.Ю.,  
Слепокуров Ю.В. Оптимизация рецептурно-технологических факторов  
получения газобетона бездефектной макроструктуры на основе известково-  
цементного вяжущего 16

## РАЗДЕЛ 2.

### АРХИТЕКТУРА

- Пчельников В.Н., Бандура Е.А. Архитектурно-планировочная организация  
городских общественных пространств, прилегающих к развязкам автодорог  
(на примере г. Симферополя) 23
- Пчельников В.Н., Сухотина А.А. Исторически сложившиеся процессы  
интеграции объектов архитектуры с транспортными путями 28
- Рябова М.Г. Эволюционирование многофункционального жилого дома-  
комплекса как градостроительной единицы 35
- Яковенко Н.Е. Современные требования к проектированию школ 40
- Нагаева З.С., Сейтумерова С.С. Развитие ландшафтного урбанизма как  
дисциплины. 45
- Нагаева З.С., Межмидинов А.А. Современные тенденции в формировании  
жилой среды 52

## РАЗДЕЛ 3.

### ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, МЕХАНИКА И СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

- Барыкин А.Б. К проблеме живучести перекрестно – ленточных фундаментов  
на склонах при наличии повреждений основания 58
- Ефремов А.В. Виды катастроф в оползневом процессе 63

## РАЗДЕЛ 4.

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

- Погребницкая А.М. Нахождение оптимального решения задачи о размещении  
коммуникационных узлов средствами теории игр 68
- Пушкарёв Б.А., Арбузова Т.А., Здоровенко А.А. Анализ эффективности  
строительства сборно-монолитных жилых многоэтажных зданий каркасно-  
связевой схемы с применением лёгких бетонов в сейсмических районах  
Крыма 74
- Шаленный В.Т., Рыжаков А.Н. Оценка эффективности разборки  
железобетонных конструкций аварийного здания с использованием вилочного  
автопогрузчика с гидроприводом 79

## РАЗДЕЛ 5.

### ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Стоянов В.В. Вероятностный подход к оценке риска возникновения аварий  
на химически опасных объектах 84

## РАЗДЕЛ 6.

### ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ, ГИДРОМЕЛИОРАЦИЯ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

- Асанов М.М., Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н. Снижение влияния нагрева  
поверхности фотоэлемента на эффективность его работы 92

<b>Бекиров Э.А., Буркова Е.В., Бурков Д.В. Анализ работы экологически безопасного источника теплоснабжения на основе бассейнов в отработанных карьерах с использованием возобновляемых источников энергии</b>	<b>97</b>
<b>Воинов А.П., Воинова С.А. Особенности управления технологическим процессом в объемно-охлаждаемых топках котлов</b>	<b>105</b>
<b>Зайцев О.Н., Петрекевич Л.В., Лукьянченко Д.М. Совершенствование систем низкотемпературного водяного отопления при количественно-качественном регулировании теплоносителя.</b>	<b>109</b>
<b>Николенко И.В., Котовская Е.Е. Методика и анализ подбора насосных агрегатов для насосных станций подкачки систем водоснабжения</b>	<b>112</b>
<b>Хван В.С. Теплообменник в виде шара</b>	<b>121</b>

# РАЗДЕЛ 1.

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК: 666.9: 691.511: 691.316

### ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ КАРБОНИЗАЦИИ ИЗВЕСТИ ОТ ДАВЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Любомирский Н.В. , Федоркин С.И. , Шаленный В.Т. , Сироджа И.Б. , Ванюшкин А.С.

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

В результате экспериментальных исследований кинетики принудительной карбонизации известковых образцов полусухого прессования в зависимости от давления  $\text{CO}_2$  и различных технологических факторов (водосодержания образцов и температуры карбонизации) выведена зависимость скорости карбонизации извести от давления углекислого газа, согласно которой скорость принудительной карбонизации извести увеличивается пропорционально давлению в степени 0 – 0,2 при давлениях ниже атмосферного и 1,2 – 2,5 при давлениях выше атмосферного. Выдвинуто предположение, что скорость карбонизации извести обусловлена механизмом адсорбции  $\text{CO}_2$  на поверхности кристаллической фазы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

**Строительные материалы, известь, углекислый газ, гидроксид кальция, карбонат кальция, принудительная карбонизация, температура, давление, полусухое прессование**

#### ВВЕДЕНИЕ. АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В последнее время наблюдается повышенный спрос на биопозитивные строительные материалы природного происхождения. Однако, глобальная проблема истощения природных ресурсов и, связанные с этим, нарушение экологического равновесия, требует бережного и рачительного отношения к природной сырьевой базе, что, в свою очередь, тормозит насыщение рынка природными экологически чистыми строительными материалами и изделиями. В сложившейся ситуации исследователи вынуждены направлять свои усилия на разработку искусственных экологически чистых строительных изделий.

Одним из наидревнейших строительным материалом, экологичность которого не вызывает сомнений, является известь. Многочисленные вековые каменные кладки, скрепленные растворами на основе извести, являются неоспоримым доказательством долговечности известковых материалов. Вместе с тем, неспособность извести твердеть во влажной среде и продолжительное время набора прочности и водостойкости материалов на ее основе, главным образом, из-за медленной карбонизации гидроксида кальция, привели к ограниченному использованию известковых вяжущих в традиционных технологиях производства строительных изделий. Решение проблемы медленной карбонизации извести в атмосферных условиях позволит получать искусственные биопозитивные материалы и изделия, которые по своим характеристикам будут соответствовать природным известнякам и мрамору. Ускорить процесс карбонизации извести можно путем создания искусственных сред с повышенными концентрациями и увеличенным количеством углекислого газа, вступающего в химическую реакцию карбонизации с гидроксидом кальция, в специальных камерах карбонизационного твердения.

Многими исследователями отмечалось [1 – 12], что углекислота активно взаимодействует с известью лишь при определенной влажности изделий, причем в процессе карбонизации требуется производить подсушку известковых изделий, так как при избытке воды в системе процесс карбонизации останавливается. С увеличением концентрации углекислого газа темп карбонизации повышается, не изменяя при этом природы реакции [1, 5, 9, 11]. Вместе с тем, повышение температуры снижает

растворимость гидроксида кальция и углекислого газа, что будет тормозить процесс карбонизации, поскольку, взаимодействие  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{CO}_2$  происходит через растворение обоих веществ [5 – 7].

Анализ данных литературных источников, а также собственные экспериментально-теоретические исследования [13 – 15] карбонизационного твердения извести позволили выделить основные группы технологических факторов, от которых зависит возможность осуществления и скорость протекания реакции карбонизации гидроксида кальция и получение прочных и водостойких изделий. Во-первых, это группа факторов, формирующих оптимальные условия для осуществления принудительной карбонизации извести, главным образом, за счет регулирования водосодержания известкового теста, стремясь свести его к возможному минимуму, температуры, а также концентрации углекислого газа. Вторую группу составляют факторы, позволяющие получать изделия требуемой геометрической формы и обладающие такой начальной дисперсной макроструктурой материала, которая будет обеспечивать свободный доступ углекислого газа к частицам извести.

Одним из эффективных приемов, позволяющим учесть вышеуказанные требования, является формование изделий способом полусухого прессования сырьевой смеси. Прессование сырьевых смесей с малым количеством воды за счет искусственного сближения частиц и создания контактов между ними формирует изделие с начальной прочной дисперсной структурой материала, которая характеризуется значительным количеством открытых мелких пор [16].

Столь значительная зависимость карбонизационного твердения материалов на основе известковых вяжущих, осуществляемого в условиях принудительной карбонизации, от множества технологических факторов, требует комплексного исследования процесса карбонизации извести. Влияние таких определяющих принудительную карбонизацию извести факторов, как водосодержание известкового теста, температура и время карбонизации изучено достаточно подробно [2, 5 – 14]. При этом, влияние количества углекислого газа на протекание процесса принудительной карбонизации систем на основе извести, а также на скорость карбонизационного твердения извести, практически не исследовалось.

#### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

В связи с вышеизложенным, основной целью данной работы является установление закономерностей влияния количества углекислого газа на протекание процесса принудительной карбонизации систем на основе извести, а также зависимости скорости карбонизации известкового камня полусухого прессования от количества  $\text{CO}_2$  и других технологических факторов.

Поскольку, количество углекислого газа в реакторе, где происходит принудительная карбонизация, удобней всего регулировать и контролировать давлением, то изучение процесса карбонизации извести проводилось путем проведения лабораторных экспериментальных исследований карбонизационного твердения известковых образцов в специально создаваемых условиях при различных давлениях  $\text{CO}_2$ . Для достижения поставленной цели были поставлены и реализованы следующие задачи:

- теоретически определено давление углекислого газа, которое обеспечивает требуемое количество  $\text{CO}_2$  для полной карбонизации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;
- исследована кинетика карбонизации известковых образцов полусухого прессования в зависимости от давления  $\text{CO}_2$  и различных технологических факторов (водосодержания образцов и температуры карбонизации);
- установлена зависимость скорости карбонизации извести от давления углекислого газа.

#### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

В работе использовали известь ООО «Стройкомплект» г. Симферополь, представляющая собой продукт мягкого обжига плотной карбонатной породы крупностью

5 – 10 мм. Известь характеризовалась следующими свойствами: активность – 68 %; время гашения – 120 с; температура гашения – 370 К.

Для изготовления опытных образцов известь гасили в пушонку. Продукт гашения с целью удаления примесей в виде «недожога» и непогасившихся зерен просеивали через сито с размером отверстий 1,25 мм, и высушивали при температуре 373 К до постоянной массы. Согласно химическому составу (табл. 1), гашеная известь состоит на 85,7 % мас. из гидроксида кальция, кроме этого в ней содержится карбонат кальция – около 8,5 % (в пересчете на CO<sub>2</sub>), прочие примеси составляют 4,8 % мас.

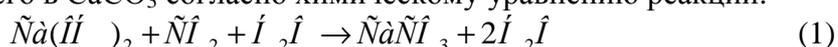
**Таблица 1**

**Химический состав гашеной извести, % мас.**

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	ппп	Σокс
2,07	1,21	0,39	< 0,05	71,2	0,59	0,02	0,16	0,08	0,05	0,15	3,73	–	20,33	24,06	99,98

Кинетику карбонизации известковых образцов изучали по специально разработанной методике статическим методом в замкнутой системе [17].

Степень превращения Ca(OH)<sub>2</sub> в CaCO<sub>3</sub>, или степень карбонизации извести определяли по отношению массы гидроксида кальция к теоретическому приросту массы Ca(OH)<sub>2</sub> в процессе перехода его в CaCO<sub>3</sub> согласно химическому уравнению реакции:



по формуле:

$$a = \frac{\Delta m_{\text{ид.}}}{1,351 \cdot m_{\text{Ca(OH)}_2}} \times 100 \%, \quad (2)$$

где  $\Delta m$  – приращение массы известкового образца в любой момент времени карбонизации, г;

1,351 – коэффициент, учитывающий изменение массы системы при 100 % превращении Ca(OH)<sub>2</sub> в CaCO<sub>3</sub>;

$m_{\text{Ca(OH)}_2}$  – масса Ca(OH)<sub>2</sub> в образце, г

Исследования проводили на известковых образцах-цилиндрах полусухого прессования диаметром 30 мм. Навеска извести для изготовления опытных образцов составляла 20 г, давление прессования – 10 МПа. Масса извести и давление прессования выбраны на основании проведенных предварительных опытов [17]. Начальное водосодержание опытных известковых образцов варьировалось от 1 до 25 % мас. Карбонизацию опытных образцов проводили в среде 100 % концентрации углекислого газа при разных температурах – при 293, 313 и 333 К и при разных давлениях CO<sub>2</sub>. Величины давлений углекислого газа варьировались в широком диапазоне: от давлений разрежения (порядка 0,02 МПа), до избыточных давлений (до 0,5 МПа).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Согласно химическому уравнению карбонизации гидроксида кальция (1) для превращения 1 моля Ca(OH)<sub>2</sub> требуется 1 моль CO<sub>2</sub>. Следовательно, количеством углекислого газа, подаваемым в карбонизационный реактор, можно управлять скоростью карбонизации извести. Однако, как было установлено ранее [5, 6, 12, 13], практически невозможно достигнуть абсолютной карбонизации Ca(OH)<sub>2</sub> из-за образования малопроницаемого барьерного слоя на поверхности частиц гидроксида кальция, состоящего из твердых продуктов карбонизации – карбоната кальция и насыщенного водного раствора промежуточных продуктов карбонизации (гидрокарбонатов и карбонатов кальция различной степени гидратации). Тем не менее, зная объем реактора и количество гидроксида кальция, участвующее в реакции карбонизации, можно теоретически рассчитать давление, которое обеспечит требуемое количество CO<sub>2</sub> в

реакторе для полного перевода  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в  $\text{CaCO}_3$ . Соответствующий расчет, учитывающий условия проведения лабораторных исследований принудительного карбонизационного твердения опытных известковых образцов-цилиндров полусухого прессования, представлен в табл. 2. Объем лабораторной карбонизационной камеры составил  $248,64 \text{ см}^3$ , объем опытного образца –  $21,195 \text{ см}^3$ , пористость образца – 50 %, количество  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в образце 0,2324 моль.

**Таблица 2**

**Расчет количества  $\text{CO}_2$  и его количества относительно количества  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в лабораторной карбонизационной камере при различном давлении и температуре принудительной карбонизации известковых образцов**

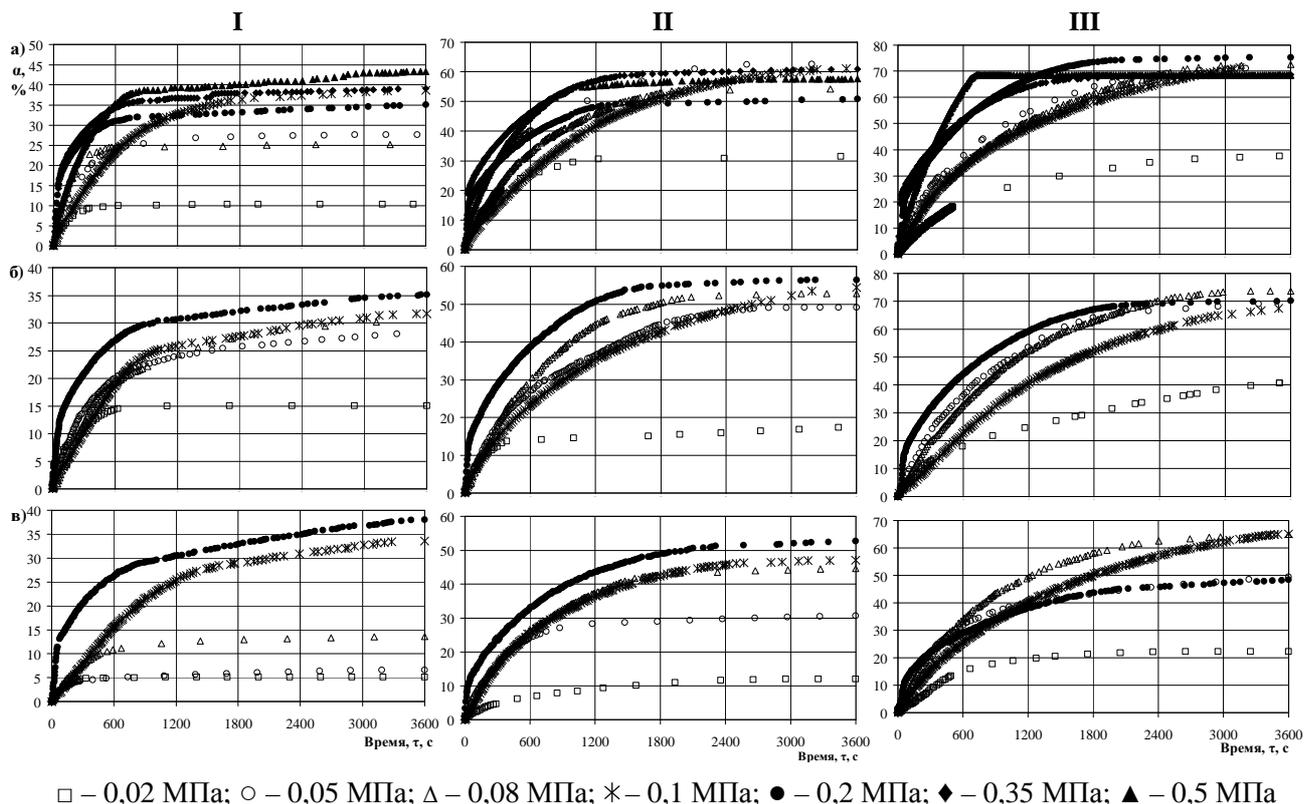
Температура, К	Давление $\text{CO}_2$ , МПа	Плотность газа $\text{CO}_2$ , $\text{кг/м}^3$	Масса $\text{CO}_2$ в камере, г	Количество $\text{CO}_2$ в камере, моль	Отношение $\text{CO}_2 / \text{Ca}(\text{OH})_2$ , моль/моль
293	0,02	0,368	0,0877	0,0020	0,0086
	0,05	0,921	0,2191	0,0050	0,0214
	0,08	1,473	0,3506	0,0080	0,0343
	0,1	1,841	0,4383	0,0100	0,0429
	0,2	3,682	0,8765	0,0199	0,0857
	0,35	6,444	1,5339	0,0349	0,1500
	0,5	9,206	2,1913	0,0498	0,2143
313	0,02	0,344	0,0820	0,0019	0,0080
	0,05	0,861	0,2049	0,0047	0,0200
	0,08	1,377	0,3278	0,0075	0,0321
	0,1	1,722	0,4098	0,0093	0,0401
	0,2	3,443	0,8196	0,0186	0,0801
	0,35	6,025	1,4343	0,0326	0,1402
	0,5	8,608	2,0490	0,0466	0,2003
333	0,02	0,323	0,0769	0,0017	0,0075
	0,05	0,808	0,1924	0,0044	0,0188
	0,08	1,293	0,3078	0,0070	0,0301
	0,1	1,616	0,3847	0,0087	0,0376
	0,2	3,233	0,7695	0,0175	0,0752
	0,35	5,657	1,3466	0,0306	0,1317
	0,5	8,082	1,9237	0,0437	0,1881
<b>510</b>	<b>4</b>	<b>43,15</b>	<b>10,2715</b>	<b>0,2334</b>	<b>1,0044</b>

Как видно из табл. 2, с повышением давления до 0,5 МПа количество  $\text{CO}_2$  в камере увеличивается, но остается недостаточным для полного превращения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в  $\text{CaCO}_3$ . С увеличением температуры количество углекислого газа в камере карбонизации снижается. Достигнуть условий, когда в камере карбонизации количество углекислого газа будет равно количеству гидроксида кальция, можно при плотности  $\text{CO}_2$  около  $43 \text{ кг/м}^3$ . Газ с такими свойствами может существовать при давлении 4 МПа и температуре 510 К [18], или объем камеры должен во много раз превышать объем загружаемого в нее материала. Создать подобные условия сложно, как технологически, так и технически и, кроме того, экономически нецелесообразно.

Наиболее рациональным способом организации карбонизационного твердения известковых материалов является способ с постоянным притоком углекислого газа в камеру твердения. Управлять скоростью твердения, при этом, можно путем поддержания повышенной концентрации  $\text{CO}_2$  и его количества, регулируя последнее давлением.

Экспериментальные данные изменения степени превращения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в  $\text{CaCO}_3$  в результате принудительной карбонизации известковых образцов полусухого прессования

с различным начальным водосодержанием в зависимости от температуры и давления  $\text{CO}_2$ , поддерживаемых в карбонизационной камере, представлены на рис. 1.



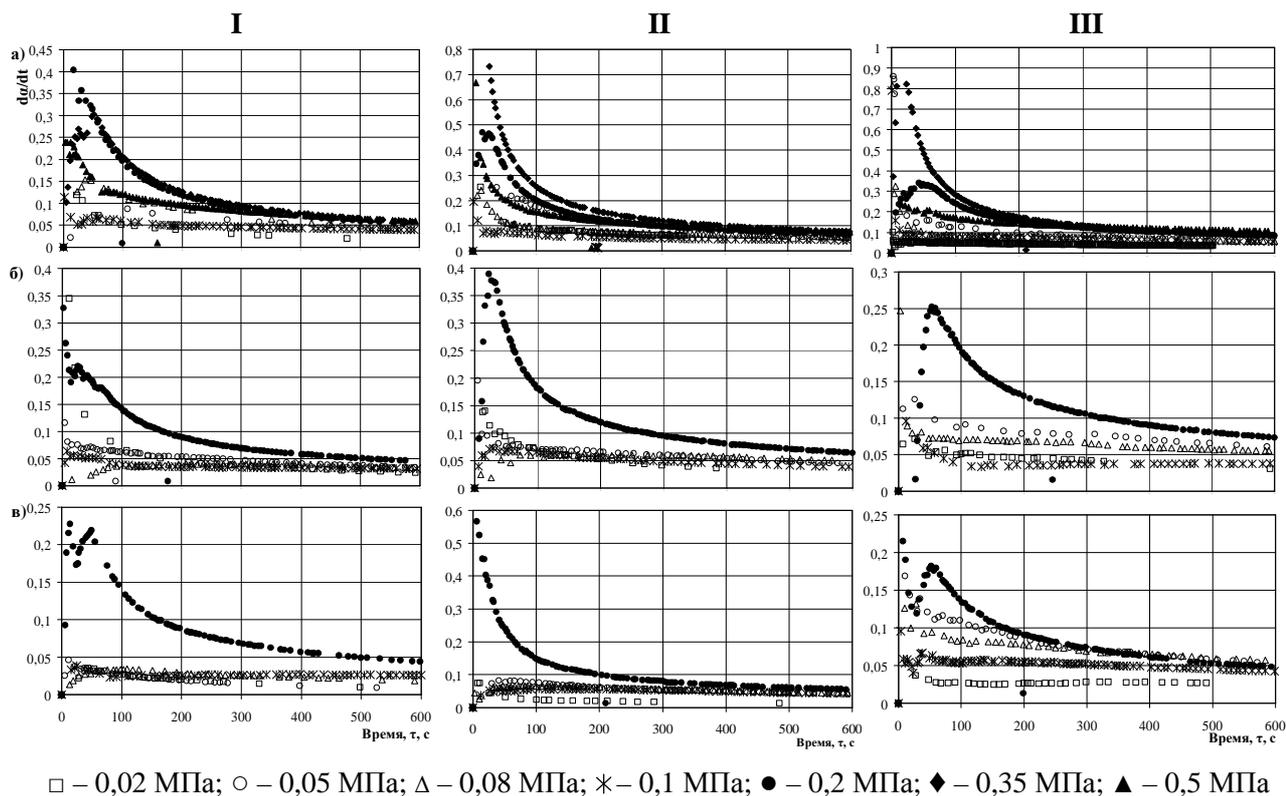
**Рис. 1. Изменение показателя степени карбонизации известковых образцов от давления  $\text{CO}_2$  в зависимости от начального водосодержания извести, % мас.: I – 1; II – 5; III – 10 и температуры карбонизации, К: а) – 293; б) – 313; в) – 333**

Общий анализ кривых кинетики карбонизации известковых образцов-цилиндров полусухого прессования показывает, что показатель степени карбонизации извести растет с повышением давления и увеличением начального водосодержания извести, а с повышением температуры имеет тенденцию к снижению. Причем, различные вариации исследуемых факторов, проявляют определенные особенности карбонизации извести.

При температуре 293 К и начальном водосодержании извести 10 % мас. (см. рис. 1, III а) кинетические кривые, характеризующие развитие карбонизации опытных образцов при давлениях ниже атмосферного (0,05 – 0,1 МПа) практически совпадали. Разность показателей степени преобразования находится в пределах 1 – 3 %. С повышением давления выше атмосферного скорость карбонизации известковых образцов возрастает, особенно в начальной стадии карбонизации, охватывающей период 0 – 1200 с. Значительно отличается от других кривая карбонизации известковых образцов при давлении  $\text{CO}_2$  0,5 МПа. Эта кривая характеризуется наличием двух периодов: первый период, охватывающий 0 – 750 с, в течение которого наблюдается превращение извести в карбонат кальция с постоянной скоростью до максимального значения 68,5 % и второй период, при котором степень превращения гидроксида в карбонат кальция не изменяется. Степень карбонизации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  после 3600 с при давлениях выше атмосферного совпадает с показателями степени превращения образцов, карбонизируемых в условиях разрежения в интервале давлений 0,05 – 0,1 МПа. Однако, с повышением давления выше атмосферного (с 0,2 до 0,5 МПа) показатель  $\alpha$  снижается с 75,3 до 68,5 %. С понижением давления  $\text{CO}_2$  до 0,002 МПа степень превращения извести в карбонат кальция минимальная и составляет 37,6 %.

С повышением температуры карбонизации до 303 К (см. рис. 1, б) расхождение показателей степени превращения образцов, карбонизируемых при различных давлениях, несколько выше, чем при температуре 293 К, однако общая картина расположения кинетических кривых и показателей степени карбонизации практически не изменяется.

При температуре 333 К (см. рис. 1, в) становится несколько заметней изменение скорости и степени превращения в зависимости от давления: в условиях разрежения с ростом давления до 0,08 МПа показатели увеличиваются, а при увеличении давления до атмосферного (0,1 МПа) и выше (до 0,2 МПа) – снижаются. Степень превращения гидроксида в карбонат кальция в опытных образцах после 3600 с принудительной карбонизации в сравнении с карбонизацией образцов при 293 К снижается на: 40,7 % при давлении 0,02 МПа, 30,5 % – при 0,05 МПа, 10,5 % – при 0,08 МПа, 9,7 % – при 0,1 МПа и 35,9 % – при 0,2 МПа.



**Рис. 2. Изменение скорости карбонизации известковых образцов в зависимости от давления углекислого газа, начального водосодержания извести и температуры: I, II, III, а), б), в) – те же, что и на рис. 1**

Графики скорости карбонизации  $\frac{da}{dt}$  опытных известковых образцов в зависимости от исследуемых факторов, представленные на рис. 2, наглядно показывают, что процесс карбонизации известковых образцов полусухого прессования соответствует мгновенному вступлению извести в химическое взаимодействие с углекислым газом. При этом, как показатели скорости карбонизации, так и характер ее изменения зависят от всех исследуемых факторов. Давление  $\text{CO}_2$  в наибольшей степени влияет на скорость карбонизации извести, что объясняется увеличением количества углекислого газа в камере карбонизации и, соответственно, адсорбируемого на частицах  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Причем, максимальная скорость карбонизации наблюдается при давлении  $\text{CO}_2$  0,35 МПа. С увеличением давления углекислого газа в камере карбонизации до 0,5 МПа скорость превращения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в  $\text{CaCO}_3$  уменьшается, что является кажущимся явлением и объясняется следующим образом. С увеличением давления  $\text{CO}_2$  с 0,35 до 0,5 МПа скорость карбонизации резко возрастает, вследствие чего выделяется большое количество воды – второго продукта карбонизации (см. уравнение (1)), которая заполняет

пространство между частицами извести и затрудняет диффузию углекислого газа во внутренние слои образца, тем самым замедляя процесс карбонизации известкового образца в целом.

С увеличением начального водосодержания известковых образцов с 1 до 10 % мас. скорость карбонизации увеличивается вследствие более активного перехода гидроксида кальция и углекислого газа в раствор. Однако, с повышением температуры, в целом, скорость превращения гидроксида в карбонат кальция снижается, что, в большей степени, связано с уменьшением растворения как  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , так и  $\text{CO}_2$  в воде [19, 20].

Анализ абсолютных значений степени превращения гидроксида в карбонат кальция и скорости карбонизации известковых образцов в зависимости от давления углекислого газа, водосодержания известкового вяжущего и поддерживаемой температуры в камере карбонизации показал следующее.

При проведении карбонизации в условиях разрежения при давлениях  $\text{CO}_2$  ниже атмосферного с понижением давления снижается и показатель степени карбонизации известкового вяжущего. Максимальные значения показателя  $\alpha$  за 3600 с принудительной карбонизации опытных образцов достигаются при атмосферном давлении углекислого газа в камере карбонизации (0,1 МПа), однако, скорость принудительной карбонизации увеличивается с увеличением давления углекислого газа.

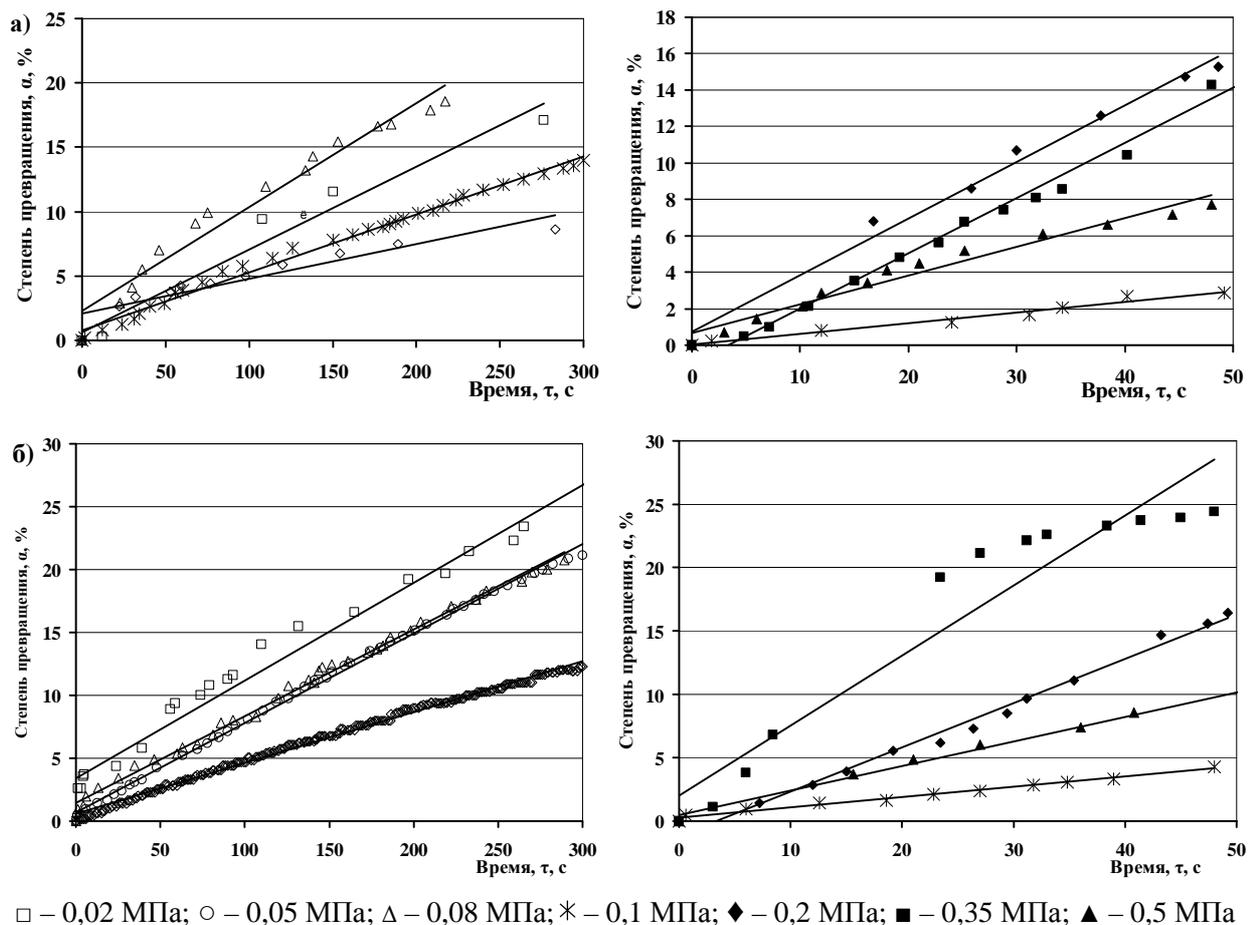
Водосодержание известкового вяжущего – фактор, наиболее влияющий на степень карбонизации гидроксида кальция. С увеличением водосодержания с 1 до 10 % мас. показатели степени превращения  $\alpha$  возрастают в 2 – 3 раза в зависимости от других исследуемых изменяемых факторов. Максимальных значений степени карбонизации можно достичь при содержании воды в известковом тесте в интервале 10 – 20 % мас. Дальнейшее увеличение водосодержания воды в известковом тесте снижает показатели степени превращения и тормозит процесс карбонизации извести, из-за затрудненного доступа углекислого газа к зернам гидрата кальция сквозь толстые пленки воды, обволакивающие эти зерна, и закупорки пор водой в образце.

Повышение температуры, в основном, снижает значения степени карбонизации извести. Оптимальной температурой карбонизации известкового вяжущего является температурный интервал 293 – 313 К, с повышением температуры неизменно наблюдается снижение показателей  $\alpha$ . Возможной причиной этому может быть связывание части  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с примесью кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) и образованием некоторого количества гидросиликатов кальция.

Первичный массив данных дал основание к заключению о существовании зависимости скорости процесса от давления. Для установления взаимосвязи между скоростью карбонизации извести и давлением проведен анализ зависимости скорости процесса от давления  $\text{CO}_2$ . С этой целью были рассмотрены начальные участки кинетических кривых  $a = f(t)$ , когда наблюдалась максимальная скорость превращения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в  $\text{CaCO}_3$ , т.е., в интервале 0 – 300 с в диапазоне давлений 0,02 – 0,1 МПа и в интервале 0 – 50 с в диапазоне давлений 0,1 – 0,5 МПа. На рис. 3 приведены результаты измерений для температуры 293 К и водосодержания известкового вяжущего 1 и 10 % мас., из которых видно, что скорость процесса в начальной стадии в двух рассматриваемых диапазонах давлений изменяется так же, как и в течение времени, когда скорость реакции карбонизации стабилизируется и процесс переходит в стадию постепенного снижения скорости превращения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в  $\text{CaCO}_3$ .

Графическое представление максимальной скорости процесса, точнее, величины  $\frac{da}{dt}$ , пропорциональной максимальной скорости, от давления показало, что  $\frac{da}{dt}$  постепенно нелинейно возрастала с давлением. Линеаризация данных в координатах  $\text{Ln}\left(\frac{da}{dt}\right) = f(\text{Ln}P)$  свидетельствует о зависимости скорости превращения от давления и о существовании определенных закономерностей скорости от условий карбонизации

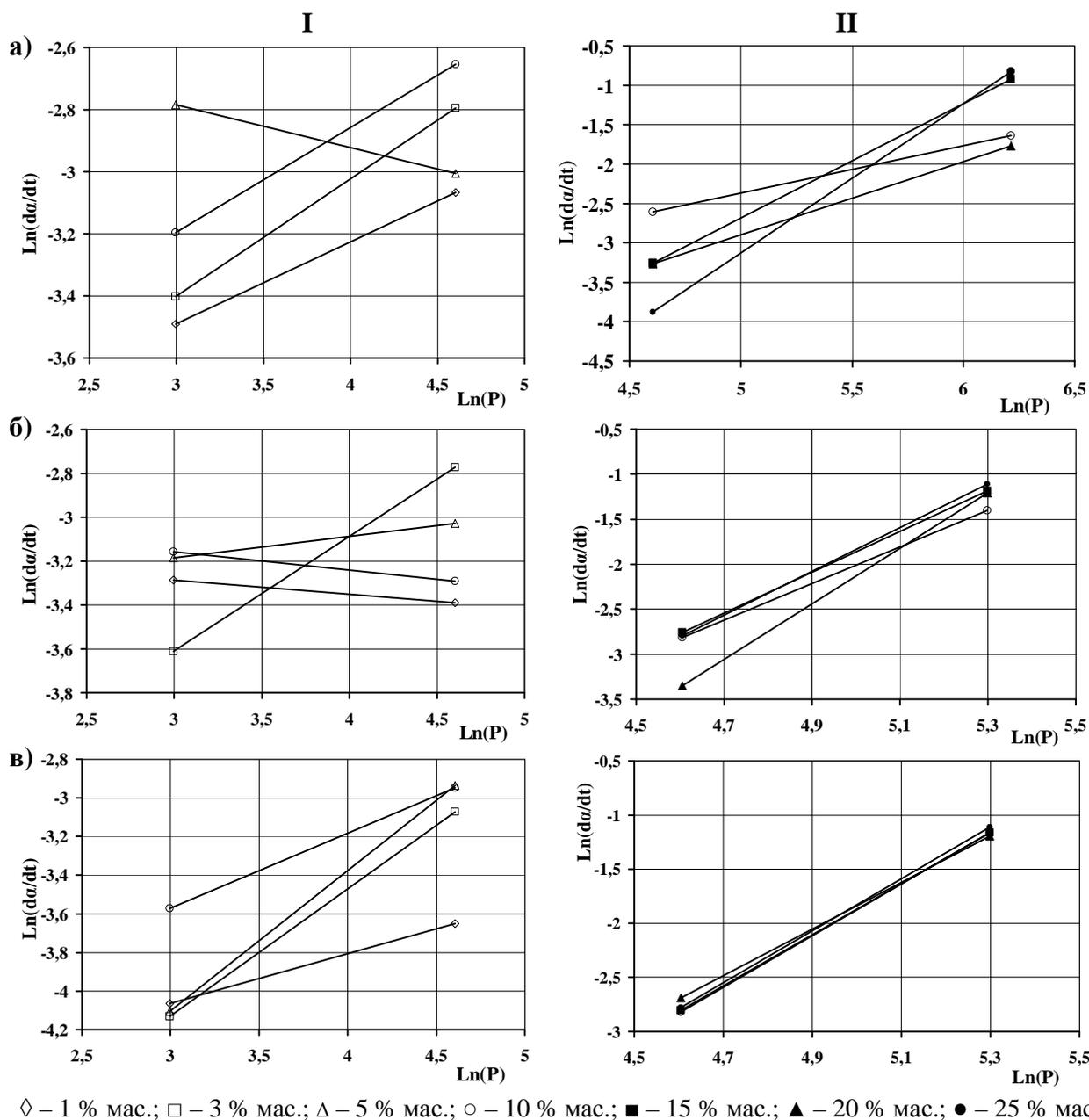
известны при разрежении, атмосферном и избыточных давлениях и начального водосодержания (рис. 4).



**Рис. 3. Начальные участки кинетических кривых, характеризующих развитие процесса карбонизации известковых образцов полусухого прессования при различных давлениях  $\text{CO}_2$ , при температуре 293 К в зависимости от начального водосодержания, % мас.: а) – 1; б) – 10**

Максимальная скорость карбонизации (см. рис. 4) растет с увеличением давления, а характер изменения скорости подчинен некоторым закономерностям, которые проявляются в зависимости от того при каких давлениях осуществляется процесс карбонизации (при давлениях ниже атмосферного или избыточных давлений), а также от температуры.

В условиях разрежения (см. рис. 4, I) при температуре 293 К скорость карбонизации в целом увеличивается с увеличением давления, с повышением температуры до 313 К показатель  $da/dt$  увеличивается при низких давлениях и практически не изменяется с повышением давления  $\text{CO}_2$  до 0,1 МПа. С повышением температуры до 333 К значения показателя скорости карбонизации снижается, но закономерно растет с повышением давления  $\text{CO}_2$ . Эта закономерность свидетельствует, что при температурах около 313 К, когда создаются условия для дегидратации и удаления воды в холодную зону системы и, в результате чего, упрощается доступ  $\text{CO}_2$  к частицам  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , протекание процесса в условиях разрежения практически перестает зависеть от величины давления углекислого газа.



◇ – 1 % мас.; □ – 3 % мас.; Δ – 5 % мас.; ○ – 10 % мас.; ■ – 15 % мас.; ▲ – 20 % мас.; ● – 25 % мас.  
**Рис. 4. Зависимость скорости карбонизации известкового вяжущего от давления  $\text{CO}_2$  и начального водосодержания при давлениях ниже атмосферного (I) и выше атмосферного (II) при разных температурах принудительной карбонизации, К: а) – 293; б) – 313; в) – 333**

При давлениях выше атмосферного начальная скорость карбонизации заметно возрастает и растет с дальнейшим повышением давления. Столь заметное ускорение степени превращения гидроксида в карбонат связано облегченным транспортированием  $\text{CO}_2$  через поры материала опытного образца к частицам  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и, соответственно, большей суммарной площадью частиц извести, вступающей в реакцию. С повышением температуры скорость реакции карбонизации известковых образцов практически перестает зависеть от их начального водосодержания (см. рис. 4, II б, в).

В целом, в аналитической форме взаимосвязь скорости карбонизации образцов из известкового вяжущего полусухого прессования от давления для различных температур выражается уравнением:

$$\left( \frac{da}{dt} \right)_T = \text{const} (P_{\text{CO}_2})_T^m \quad (3)$$

Степень « $m$ » в уравнении (3) зависит от диапазона давлений  $\text{CO}_2$  и температуры. При карбонизации в условиях разрежения в диапазоне давлений  $\text{CO}_2$  от 20 до 100 кПа при температурах карбонизации 293, 313, 333 К степень « $m$ » принимает в среднем значения 0,2; 0; 0,5, соответственно. В условиях избыточного давления  $\text{CO}_2$  при тех же температурах карбонизации степень « $m$ » принимает средние значения 1,2; 2,5 и 2,3, соответственно.

Можно предположить, что наблюдаемые на опыте зависимость скорости карбонизации извести от давления углекислого газа обусловлена также механизмом адсорбции  $\text{CO}_2$  на поверхности кристаллов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а именно то, что общее количество молекул  $\text{CO}_2$ , хемосорбирующихся на гидроксильных группировках внешнего слоя с повышением давления может значительно превышать, необходимое для связывания с образованием карбоната кальция, ведь согласно уравнению карбонизации (1) для связывания одной молекулы  $\text{CO}_2$  требуется одна молекула гидроксида кальция.

### Выводы

Реакция насыщения углекислотой известкового вяжущего – довольно сложный механизм, состоящий из диффузии  $\text{CO}_2$  через пористую структуру материала и растворение его в капиллярных порах воды, последующее взаимодействие с гидроксидом кальция происходит с выделением кристаллов карбоната кальция. Для лучшего понимания этого механизма реакции, были проведены исследования кинетики карбонизации известковых образцов при различных давлениях углекислого газа. По результатам работы сделаны следующие выводы.

1. Теоретическими исследованиями выявлено, что достигнуть условий, когда в камере карбонизации количество углекислого газа будет равно количеству гидроксида кальция, можно при плотности  $\text{CO}_2$  порядка  $43 \text{ кг/м}^3$ , что достижимо при высоких давлениях и температуре: 4 МПа и 510 К соответственно, или увеличивать габариты карбонизационной камеры, снижая коэффициент загрузки камеры материалом, что тяжело выполнимо технологически и технически и экономически нецелесообразно. Более рациональным способом организации карбонизационного твердения известковых материалов является способ с постоянным притоком углекислого газа в камеру твердения с поддержанием повышенной концентрации углекислого газа и его количества.

2. Установлено, что давление углекислого газа и температура не оказывают определяющего влияния на показатель степени карбонизации извести при постоянном значении одного из факторов, но являются важными показателями, регулирующими скорость превращения извести в карбонат кальция на начальной стадии процесса карбонизации. Отличительной особенностью давления и температуры является их существенное совместное действие, взаимно дополняющее друг друга.

3. Получена зависимость скорости карбонизации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  от давления  $\text{CO}_2$ . Показано, что скорость карбонизации изменяется в зависимости от давления  $\text{CO}_2$ . В условиях разрежения в интервале температур 293 – 313 К скорость процесса практически не зависит от изменения давления, увеличиваясь пропорционально давлению в степени 0 – 0,2, в условиях повышенных давлений скорость карбонизации возрастает в степени в указанном температурном интервале 1,2 – 2,5.

4. Выдвинуто предположение, что скорость карбонизации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  обусловлена механизмом адсорбции  $\text{CO}_2$  на поверхности кристаллической фазы и с повышением давления количество адсорбированных молекул  $\text{CO}_2$  может увеличиваться и превышать требуемое, которое необходимо по химическому уравнению.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычев М.М. Систематизация вяжущих веществ / Сычев М.М. // Журнал прикладной химии. – 1970. – № 3. – С. 528 – 533.
2. Зацепин К.С. Известковые карбонизированные строительные материалы / Зацепин К.С. // Сборн. материалов Московского науч.-технич. совещания по жил.-

- гражд. строит., строит. материалам и проектно-изыскат. работам.– М: Московская правда. – 1952. – Т. 2. – С. 283 – 290.
3. Михайлов Н.Н. Искусственная карбонизация как способ повышения активности доломитового вяжущего / Н.Н. Михайлов, А.М. Кузнецов // Строительные материалы. – 1960. – № 9. – С. 28 – 30.
  4. Воробьев А.А. Влияние карбонизации на физико-механические свойства автоклавного газобетона с тонкомолотыми карбонатными добавками / Воробьев А.А. // Строительные материалы. – 1971. – №2. – С. 32 – 33.
  5. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // Rock Products. – 1956. – August. – P. 182 – 186.
  6. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // Rock Products. – 1956. – September. – P. 84 – 90.
  7. Matsuda O. Experimental study of the manufacture of building materials by carbonation of slaked lime / Matsuda O., Yamada H. // Sekko to sekkai = Gypsum & Lime. – 1973. – № 125. – P. 8 – 17.
  8. Aono T. Studies on the reactions between gas and solid, part II: absorption of CO<sub>2</sub> by CaO and Ca(OH)<sub>2</sub> / Aono T. // Bulletin of the Chemical Society of Japan. – 1931. – № 6. – P. 319 – 324.
  9. Cizer O. Crystal morphology of precipitated calcite crystallized calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. [Электронный ресурс] / Cizer O., K. Van Balen, D. Van Gemert // Forum italiano calce. – 2011. – <http://www.iscowa.org/>
  10. Cultrone G. Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural / Cultrone G., Sebastián E., Ortega Huertas M. // Cement and Concrete Research. – 2005. – Volume 16. Issue 12. – P. 278 – 289.
  11. Любомирский Н.В. Формирование структуры известкового теста при твердении в среде углекислого газа / Н.В. Любомирский, Т.А. Локтионова // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Simferopol-Lublin. – 2009. – Vol. 11A. – P. 239 – 246.
  12. Любомирский Н.В. Термодинамическое обоснование искусственной карбонизации известки / Любомирский Н.В. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс. – 2010. – вип. № 38. – С. 426 – 430.
  13. Любомирский Н.В. Особенности карбонизации известковых вяжущих материалов / Любомирский Н.В. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка: ДонНАБА. – 2010. – Вип. 2010-5(85). – С. 121 – 126.
  14. Любомирский Н.В. Влияние качества известки и концентрации углекислого газа на физико-механические свойства искусственно карбонизированного камня / Любомирский Н.В., Бахтин А.С., Бахтина Т.А., Джелаял А.Э. // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – 2011. – Vol. 13C. – P. 173 – 182.
  15. Lyubomirsky N. The resource saving technology for obtaining facing artificially carbonated products and economic efficiency of their production / [N. Lyubomirsky, T. Bakhtina, A. Bakhtin, D. Vorobiev, A. Jalyal] // Energy-saving and Ecological Materials, Installations and Technology in Construction. – Biala Podlaska: Wydawnictwo PSW JPII. – 2012. – P. 115 – 122.
  16. Любомирский Н.В. Формирование прочностных свойств материалов на основе известково-известняковых композиций карбонизационного типа твердения / Любомирский Н.В., Бахтин А.С., Джелаял А.Э. // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin – Pzeszow. – 2013. – Vol. 15, № 5. – P. 23 – 30.
  17. Любомирский Н.В. Влияние температуры на скорость принудительной карбонизации известкового камня полусухого прессования / Н.В. Любомирский, И.Б. Сироджа // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2014. – Вып. 49. – С. 40 – 48.

18. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Варгафтик Н.Б. – М.: Физматгиз, 1963. – 708 с.
19. Бойтон Р.С. Химия и технология извести. Сокращенный перевод с английского / Бойтон Р.С. – М.: Изд-во по строительству и архитектуре, 1972. – 239 с.
20. Бутт Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов / Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. – М.: Высшая школа, 1980. – 327 с.

**УДК 666.9: 691.511: 666.973.6:691.33**

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОБЕТОНА БЕЗДЕФЕКТНОЙ МАКРОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВО-ЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО**

**Любомирский Н.В., Шаленный В.Т., Ванюшкин А.С., Шуляк Е.Ю., Слепокуров Ю.В.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

Исследовано влияние различных рецептурно-технологических факторов на получение газобетона бездефектной структуры на основе смешанного известково-цементного вяжущего. Выявлено, что в наибольшей степени формирование ячеистой структуры зависит от текучести смеси, количества извести в составе известково-цементном вяжущего и алюминиевой пудры. Экспериментально установлено, что для получения бездефектной ячеистой макроструктуры газобетона средней плотностью D 500, оптимальными технологическими параметрами являются: состав известково-цементного вяжущего 50 : 50 % мас., количество алюминиевой пудры – 0,10 – 0,12 % мас., диаметр расплыва смеси на вискозиметре Суттарда – 33 см и температура формовочной смеси 303 К.

**Газобетон, известково-цементное вяжущее, ячеистая структура, рецептурно-технологические факторы, средняя плотность**

### **ВВЕДЕНИЕ. АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

На данный момент весьма актуальным является вопрос производства теплоизоляционных материалов с повышенными эксплуатационными свойствами. Итогом многолетних исследований ученых всего мира является разработка различных технологий изготовления ячеистого бетона, отличающихся способом формования, твердения и сырьевой базой [2, 10, 11, 5].

При любой технологии обязательным условием является обеспечение экологичности и экономичности производственного процесса. Одним из вариантов решения данного вопроса является производство газокарбоната – ячеистого материала на основе извести и вторичного известнякового сырья, совмещающего в себе технологию газобетона в части получения ячеистой структуры, но твердение которого осуществляется за счет искусственной карбонизации [8].

Газобетон является композиционным материалом, формирование пористой структуры и свойств которого зависит от множества факторов. Многочисленными исследованиями установлено [6], что решающее влияние на прочность и другие свойства ячеистого бетона оказывает структура пористости, а не ее первичные элементы – поры. Впервые теоретическое обоснование связи между макроструктурой ячеистых бетонов и их прочностью было дано Г.И. Логиновым и А.П. Филиным [1]. Особенное внимание исследованиям вопросов структурообразования уделяли Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, К.Э. Горяйнова, С.К. Горяйновой и др. [4, 9].

Анализируя процессы структурообразования газобетонов, выделяют факторы, определяющие скорость изменения вязкости и пластической прочности растворной

составляющей, и факторы, определяющие кинетику газообразования. К первой группе можно отнести: величину водотвердого отношения, соотношение сырьевых компонентов, удельную поверхность заполнителя, минералогический состав вяжущих веществ и сроки схватывания, количество и вид добавок-регуляторов твердения, температуру воды затворения, температуру окружающей среды, наличие и вид поверхностно-активных веществ. Ко второй группе – характеристики алюминиевой пудры, ее активность, удельную поверхность, рН среды, температуру реакции и др. [3, 7]. Для нормального формирования ячеистой структуры необходимо совместить момент максимального газовыделения с оптимальными значениями пластично-вязких характеристик. Синхронизация процесса газообразования и изменения вязкости смеси обеспечивается тщательным подбором рецептурно-технологических факторов, что является основной задачей при получении качественного газобетона.

Газокарбонат в отличие от газобетона автоклавного твердения приобретает прочность за счет карбонизационного твердения известковой составляющей. Поэтому, кроме всех прочих рецептурно-технологических факторов, определяющих получение газобетона, важной задачей при оптимизации составов газокарбоната является разработка смешанного известково-цементного вяжущего, обеспечивающего формирование прочной ячеистой структуры принудительно карбонизированного материала. Цемент в составе вяжущего необходим для фиксации получаемой в результате газообразования пористой структуры и уменьшения усадочных деформаций газобетона.

#### **ЦЕЛИ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Целью настоящей статьи является оптимизация рецептурно-технологических факторов для получения бездефектной макроструктуры газобетона на основе известково-цементного вяжущего путем установления закономерностей процесса порообразования системы «известково-цементное вяжущее – газообразователь – вода».

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- установить закономерности зависимости изменения средней плотности газобетона от различных рецептурно-технологических факторов (текучесть смеси, количество извести и алюминиевой пудры и температура);

- оценить получаемую ячеистую макроструктуру газобетона на основе известково-цементного вяжущего от изменяемых технологических факторов.

#### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

Исходя из того, что процесс получения бездефектной ячеистой структуры зависит от множества технологических факторов, реализацию поставленной цели осуществляли методами математического планирования эксперимента с использованием ортогонального композиционного плана второго порядка. В качестве варьируемых факторов приняли четыре, оказывающих наибольшее влияние на вспучивание газобетонной смеси и формирование структуры газобетона: водосодержание бетонной смеси, которое оценивали диаметру расплыва смеси на вискозиметре Суттарда, содержание извести в смешанном известково-цементном вяжущем и количество газообразователя (алюминиевой пудры) и температура смеси. Характеристики алюминиевой пудры, ее удельная поверхность и температура окружающей среды приняты постоянными. Для поризации газобетонной смеси использовалась алюминиевая пудра ПАП-1, кроющая способность на воде которой составляет не менее  $7000 \text{ см}^2/\text{г}$ . Температура окружающей среды составляла  $20^\circ\text{C}$ . Условия планирования эксперимента представлены в табл. 1.

Определение степени влияния варьируемых факторов на конечные свойства ячеистого материала осуществлялся по показателю средней плотности – параметра, характеризующего структурное состояние ячеистого бетона, а также путем оценки получаемой макроструктуры материала. Среднюю плотность и особенности строения макроструктуры определяли на образцах-кубах размерами  $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ , высушенных при температуре  $333 - 343 \text{ К}$ . Матрица планирования эксперимента и экспериментальные данные представлены в табл.2.

Таблица 1

## Условия планирования эксперимента

Наименование фактора	Ед. изм.	Код	Уровни варьирования					Интервал варьирования
			-2	-1	0	1	2	
Расплав смеси на вискозиметре Сутгарда	см	X <sub>1</sub>	24	27	30	33	36	3
Содержание газообразователя	%	X <sub>2</sub>	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,02
Содержание извести в смешанном вяжущем	%	X <sub>3</sub>	10	30	50	70	90	20
Температура смеси	К	X <sub>4</sub>	293	298	303	308	313	5

Таблица 2

## Матрица планирования и экспериментальные данные

№ опыта	Матрица планирования				Натуральные значения переменных				Средняя плотность, $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>1</sub> , см	X <sub>2</sub> , %	X <sub>3</sub> , %	X <sub>4</sub> , К	
1	+1	+1	+1	+1	33,0	0,12	70,0	308	370
2	-1	+1	+1	+1	27,0	0,12	70,0	308	413
3	+1	-1	+1	+1	33,0	0,08	70,0	308	489
4	-1	-1	+1	+1	27,0	0,08	70,0	308	480
5	+1	+1	-1	+1	33,0	0,12	30,0	308	432
6	-1,0	+1	-1	+1	27,0	0,12	30,0	308	499
7	+1	-1	-1	+1	33,0	0,08	30,0	308	580
8	-1	-1	-1	+1	27,0	0,08	30,0	308	637
9	+1	+1	+1	-1	33,0	0,12	70,0	298	397
10	-1	+1	+1	-1	27,0	0,12	70,0	298	483
11	+1	-1	+1	-1	33,0	0,08	70,0	298	443
12	-1	-1	+1	-1	27,0	0,08	70,0	298	517
13	+1	+1	-1	-1	33,0	0,12	30,0	298	552
14	-1	+1	-1	-1	27,0	0,12	30,0	298	616
15	+1	-1	-1	-1	33,0	0,08	30,0	298	605
16	-1	-1	-1	-1	27,0	0,08	30,0	298	710
17	+2	0	0	0	36,0	0,10	50,0	303	469
18	-2	0	0	0	24,0	0,10	50,0	303	543
19	0	+2	0	0	30,0	0,14	50,0	303	430
20	0	-2	0	0	30,0	0,06	50,0	303	591
21	0	0	+2	0,0	30,0	0,10	90,0	303	384
22	0	0	-2	0,0	30,0	0,10	10,0	303	707
23	0	0	0	+2	30,0	0,10	50,0	313	532
24	0	0	0	-2	30,0	0,10	50,0	293	490
25	0	0	0	0	30,0	0,10	50,0	303	487
26	0	0	0	0	30,0	0,10	50,0	303	491
27	0	0	0	0	30,0	0,10	50,0	303	495
28	0	0	0	0	30,0	0,10	50,0	303	488
29	0	0	0	0	30,0	0,10	50,0	303	493
30	0	0	0	0	30,0	0,10	50,0	303	498
31	0	0	0	0	30,0	0,10	50,0	303	496

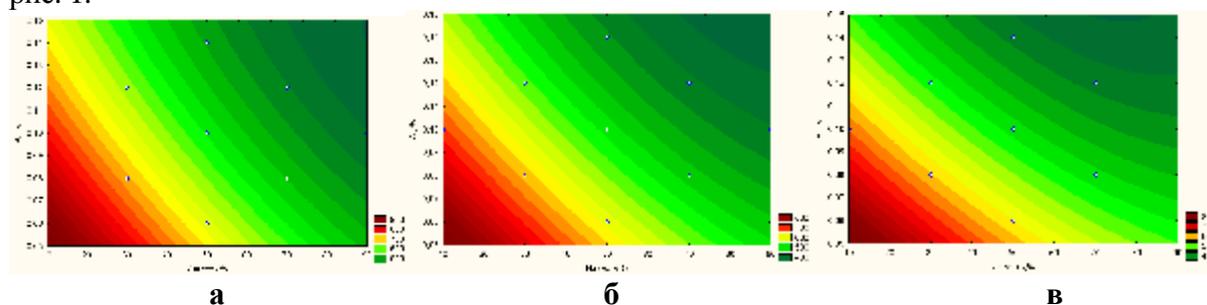
Уравнение регрессии зависимости средней плотности газобетона от исследуемых факторов, полученное при обработке экспериментальных данных, имеет вид:

$$Y = 139,71 - 26,43\tilde{O}_1 - 42,51X_2 - 70,29\tilde{O}_3 - 14,15X_4 + 90,93X_1^2 + 91,97X_2^2 + 100,68X_3^2 + 92,09X_4^2 - 2,06X_1X_2 + 6,15X_1X_3 + 10,60X_1X_4 + 10,31X_2X_4 + 15,40X_3X_4. \quad (1)$$

Согласно уравнению регрессии (1), наиболее значительное влияние на показатель средней плотности оказывает содержания извести в составе вяжущего ( $X_3$ ). Так с увеличением содержания извести в смешанном известково-цементном вяжущем средняя плотность ячеистого материала уменьшается. Аналогичное влияние, но в меньшей степени, оказывает и увеличение количества алюминиевой пудры ( $X_2$ ). Водосодержание газобетонной смеси, контролируемое величиной диаметра расплыва смеси на вискозиметре Суттарда,  $X_1$  в меньшей степени оказывают влияние на изменение средней плотности газобетона. С увеличением диаметра расплыва газобетонной смеси до максимальных значений, определенных условиями эксперимента, пористость массива увеличивается. Минимальное влияние на показатель средней плотности оказывает температура формовочной смеси  $X_4$ . Однако, значения коэффициентов регрессии, стоящих при взаимодействиях факторов, свидетельствуют, что от изменения температурного режима формования существенно влияет на изменение показателей средней плотности и пренебрегать температурой не следует.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет предположить, что увеличение количества извести в смеси повышает ее рН, тем самым, интенсифицируя процесс газообразования. Максимально низкие показатели средней плотности образцов ( $370 - 400 \text{ кг/м}^3$ ) достигнуты при содержании извести  $70 - 90 \%$  мас. и расходе алюминиевой пудры  $0,10 - 0,14\%$  мас.

Графическая обработка полученного математического полинома в виде номограмм изменения средней плотности образцов в зависимости от наиболее влияющих факторов  $X_2$  и  $X_3$  при постоянной температуре  $303 \text{ К}$  различных показателях текучести смеси представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Номограммы изменения средней плотности газобетона в зависимости от содержания извести в составе вяжущего и количества алюминиевой пудры при температуре смеси  $303 \text{ К}$  и различных диаметрах расплыва рабочей смеси, см: а – 24; б – 30; в – 36.**

Номограммы показывают, что эффект влияния водотвердого отношения тем больше, чем ниже показатели средней плотности получаемого пористого материала. При значениях средней плотности в пределах  $700 - 900 \text{ кг/м}^3$  диаметр расплыва смеси, характеризующий ее текучесть, существенно не изменяет диапазон варьирования рецептурных факторов для получения плотностей заданных значений, но для получения более высокой пористости газобетона необходимо повышать водотвердое отношение. Это обусловлено тем, что при образовании большого количества пор необходимо обеспечить достаточное количество воды в системе для образования бездефектных межпоровых пленок, способствующих улучшению газодерживающей способности смеси и высокому коэффициенту использования алюминиевой пудры. Так из рис. 1 видно, что при диаметре расплыва смеси на вискозиметре Суттарда  $36 \text{ см}$  достигается оптимальная вязкость смеси, обеспечивая тем самым широкий диапазон варьирования сырьевых компонентов для получения ячеистого материала

плотностью 400 – 500 кг/м<sup>3</sup>. Если при диаметре расплыва смеси 24 см для получения газобетона марки D 500 необходимо использовать 80 – 90 % мас. извести в составе вяжущего, то при расплыве 36 см при содержании извести в составе вяжущего 50 – 90 % мас. возможно достичь значений средней плотности в 400 кг/м<sup>3</sup>.

Комплексный анализ полученных данных позволил установить, что для достижения высоких показателей роста газовой фазы оптимальным является использование 70 % извести в составе вяжущего вещества. При данном количестве извести в смеси вяжущего обеспечивается достаточная щелочность системы для более полного течения процесса газообразования и не наблюдается перерасход газообразователя. Регулируя расходы извести и алюминиевой пудры можно получать бетоны одинаковой средней плотности, но разной структуры пористости, с разными показателями усадки и, соответственно, разными эксплуатационными характеристиками.

При формировании пористой макроструктуры ячеистого материала выделяют два основополагающих процесса: газообразование и рост пластической прочности и вязкости системы. Для получения бездефектной структуры пористости бетона необходимо синхронизировать эти два процесса. Это возможно только при тщательном подборе факторов рецептурного и технологического характера.

В технологии газобетона принято выделять три типичных режима порообразования в зависимости от взаимодействия процессов структурообразования во времени. В случае опережения процесса газообразования относительно роста пластической прочности смеси наблюдается удаление газа из смеси, что приводит к значительным его потерям и образованию крупных пор в верхней части массива. Позднее газообразование, которое возникает после набора материалом определенной пластической прочности, влечет за собой рост давления в его порах и образование трещин в межпоровых перегородках. Согласованные во времени процессы газообразования и увеличения пластической прочности формируют ячеистую структуру бетона с оптимальными характеристиками.

Рассмотрение макроструктур опытных образцов, получаемых в ходе проведения эксперимента, показало, что ячеистый материал характеризуется тремя видами ячеистых структур, возникновение которых в наибольшей степени зависит от консистенции газобетонной смеси и состава смешанного вяжущего (рис. 2).



**Рис. 3. Ячеистая структура опытных образцов газобетона марки D500, получаемых из смеси известково-цементного вяжущего состава, % мас.: 70 : 30 (а, б) и 50 : 50 (в) и алюминиевой пудры в количестве 0,12 % мас. при температуре 303 К, в зависимости от показателя текучести смеси на вискозиметре Суттарда Суттарда, см:  
а – 27; б – 33; в – 36.**

Материалы, полученные на основе известково-цементного вяжущего, содержащего известь в количестве 70 % мас., минимальной и максимальной растекаемостью смеси, определенными экспериментом (диаметр расплыва смеси, соответственно 27 и 36 см) (см. рис. 2, а и в), характеризуются дефектной структурой. При низких показателях текучести смеси (рис. 2, а) образуется рваная пористая структура из-за пониженной текучести суспензии, препятствующей увеличению пузырьков до объемов, который

может занять содержащейся в них газ. В случае высокой подвижности смеси (рис. 2, в), вследствие того, что вязкое сопротивление суспензии в начальный период времени не способно препятствовать слиянию газовых пузырьков, макроструктура ячеистого материала характеризуется наличием крупных пор.

Ячеистая структура образцов газобетона, полученных вспучиванием рабочей смеси подвижностью, соответствующей диаметру расплыва на вискозиметре Сутгарда 33 см визуально соответствует оптимальной (см. рис. 2, б). При данных технологических параметрах вязко-пластичные свойства газобетонной смеси не препятствуют активному росту многочисленных пузырьков газа при незначительном давлении внутренней газовой фазы, при этом, не наблюдается объединение газовых пузырьков в крупные поры. После окончания газообразования происходит схватывание смеси с образованием макроструктуры, отличающейся наличием сферических пор размером до 1 – 1,5 мм и бездефектными межпоровыми перегородками.

### **Выводы**

1. Путем проведения оптимизации рецептурно-технологических факторов (текучесть смеси, количество извести и алюминиевой пудры и температура) получения газобетона, учитывающей его последующее принудительное карбонизационное для получения газокarbonата, установлено, что в совокупности данные факторы определяют формирование правильной макроструктуры будущего газокarbonата. Температура газобетонной смеси является технологическим параметром, который оказывает наименьшее влияние на количественные показатели выделения газа, но способствует формированию правильной макроструктуры, так как определяет скорость прохождения реакции газообразования.

2. Выявлено, что для обеспечения достаточной щелочности системы, обеспечивающей достижение высоких показателей роста газовой фазы, за счет более полного протекания процесса газообразования оптимальным является использование в составе известково-цементного вяжущего 50 – 70 % мас. извести.

3. Определено, что текучесть газобетонной смеси на основе известково-цементного вяжущего в значительной степени зависит от состава вяжущего и является фактором, определяющим кинетику изменения реологических свойств смеси в процессе ее вспучивания. Увеличение текучести газобетонной смеси расширяет диапазон варьирования сырьевых компонентов газобетона и позволяет получать газобетон меньшей плотности. Так при расплыве смеси на вискозиметре Сутгарда 33 – 36 см возможно получать газобетон плотностью 400 – 500 кг/м<sup>3</sup>.

4. Экспериментально установлено, что для получения бездефектной ячеистой макроструктуры газобетона средней плотностью D 500, оптимальными технологическими параметрами являются: состав известково-цементного вяжущего 50 : 50 % мас., количество алюминиевой пудры – 0,10 – 0,12 % мас., диаметр расплыва смеси на вискозиметре Сутгарда – 33 см и температура формовочной смеси 303 К.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

21. Баранов А.Т. Вопросы технологии ячеистых бетонов и конструкций из них / А.Т. Баранов, В.В. Макаричев – М.: Стройиздат. Московская типография. – 1972. – 173 с.
22. Горлов Ю.П.. Технология теплоизоляционных материалов / Учебник для вузов. Под ред. Ю.П. Горлова. – М. Стройиздат. – 1980. – 399 с.
23. Горчаков Г.И. Условия оптимального структурообразования ячеистых бетонов / Горчаков Г.И., Сахаров Г.П., Данилин В.К. // Легкие наружные стены. – 1973. – С. 77 – 82.
24. Горяйнов К.Э. Формирование структуры ячеистых бетонов / К.Э. Горяйнов, В.П. Скрипник // Строительные материалы. – 1974. – №5. – С. .
25. Кривицкий М.Я. Ползучесть автоклавных ячеистых бетонов с учетом некоторых технологических факторов / Кривицкий М.Я., Левин Н.И., Счастный А.Н. //

- Производство и применение изделий из ячеистых бетонов. – М.: Стройиздат. – 1968. – С. 105 – 120.
- 26.Кривицкий М.Я. Ячеистые бетоны. Технология, свойства и конструкции / Кривицкий М.Я., Левин Н.И., Макаричев В.В. – М.: Издательство литературы по строительству, 1972. – 70 с.
- 27.Книгина Г.И. Значение пластичности газобетонной массы при формировании макроструктуры / Г.И. Книгина, В.Д. Загоренко // Строительные материалы. – 1966. – № 1. – С. 35 – 36.
- 28.Любомирский Н.В. Известково-карбонатные строительные композиты карбонизационного твердения / [Любомирский Н.В., Локтионова Т.А., Бахтин А.С., Акимов А.М.] // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – Київ: ДП НДІБК. – 2009. – Вип. 72. – С. 319 – 327.
- 29.Меркин А.П. Формирование макроструктуры ячеистых бетонов / Меркин А.П., Филин А.П., Земцов Д.Г. // Строительные материалы. – 1963. – №12. – С. 16 – 17.
- 30.Розенфельд Л.М. О снижении усадочных деформаций газошлакобетона / Розенфельд Л.М., Нейман А.Г., Васильева Т.Д. // Производство и применение изделий из ячеистых бетонов. – М.: Стройиздат. – 1968. – С. 61 – 70.
- 31.Розенфельд Л.М. Химические добавки и поверхностно-активные вещества в технологии газошлакобетона / Розенфельд Л.М., Нейман А.Г., Васильева Т.Д. // Производство и применение изделий из ячеистых бетонов. – М.: Стройиздат. – 1968. – С. 71 – 84.

## РАЗДЕЛ 2. АРХИТЕКТУРА

*УДК 711.533.17*

### **АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГОРОДСКИХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К РАЗВЯЗКАМ АВТОДОРОГ (НА ПРИМЕРЕ Г. СИМФЕРОПОЛЯ)**

**Пчельников В.Н., Бандура Е.А.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

В статье рассматривается проблематика развития городского общественного пространства вблизи авторазвязок. Предложен принцип формирования таких пространств путем архитектурно-планировочных решений. В русле данного исследования используется опыт практического решения проблематики узловых общественных пространств. Обоснован подход архитектурного освоения рассматриваемых городских территорий с позиции теории функциональных систем: на конкретном участке города проиллюстрирован практический результат научного подхода в архитектурном проектировании.

**Ключевые слова:** авторазвязка, архитектурно-планировочная организация

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Беспорядочная застройка общественных площадей, прилегающих к авторазвязкам, привнесение новых функций и реорганизация уже существующих изменяет функционально-планировочную структуру этих интенсивно-эксплуатируемых участков в городской среде в сторону ухудшения баланса плотности застройки, усложнения режима эксплуатации отдельных составляющих и комфортности среды в целом.

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

В настоящее время существует ряд работ, посвященных проблеме улучшения планировочной организации транспортно-пешеходных узлов [1,4], также существует научно-методическая база, применимая в ходе изучения и поиска решений проблемных ситуаций в городской среде [2,3,5].

#### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

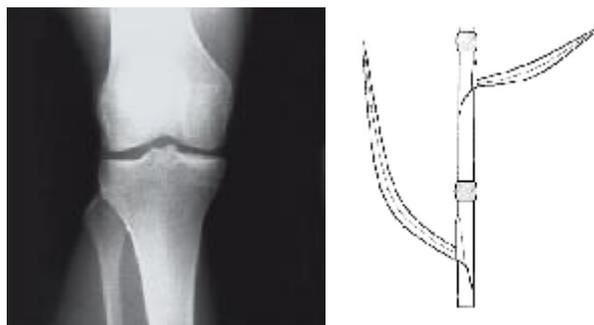
Целью исследования является выявление основных принципов реорганизации общественных пространств в узловых городских участках, имеющих проблему хаотичного функционального наполнения по причине меняющихся городских условий. Исходя из этого, определены следующие задачи:

- анализ незапланированного развития городских общественных пространств вблизи крупных авторазвязок;
- анализ потенциального использования пространства, отводимого для автотранспорта;
- предложение оптимальных функционально-планировочных решений при интеграции зданий и сооружений в пространства, отводимые под транспортные развязки.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

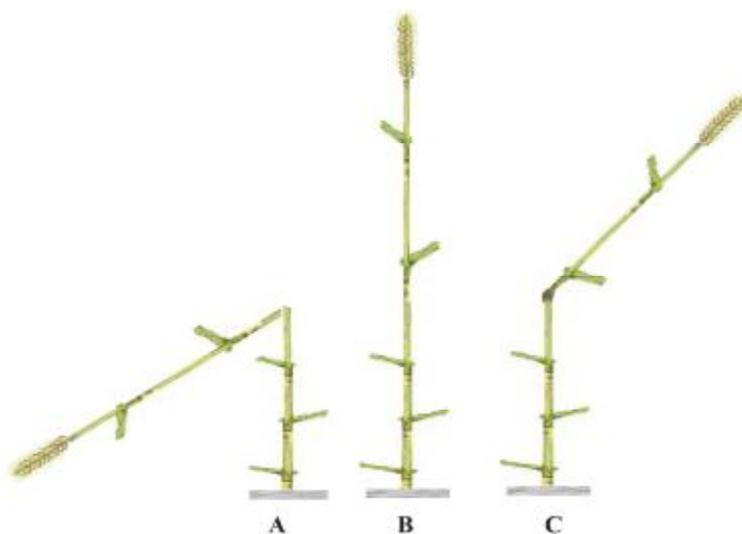
В природе – в любом ее виде, явлении или процессе – существуют предельные состояния. Они заложены для успешного функционирования системы в определенных границах (условиях). Запас прочности (возможности), имеющийся у живых организмов, нередко многократно превышает типичные для их функционирования нагрузки. Устойчивость одних природных систем основана на достижении баланса при противодействии другим природным явлениям или факторам. Однако в случаях «нештатных» ситуаций или при достижении предельных возможностей у структуры есть два пути: она вынуждена либо меняться, либо она прекращает существование. Для

иллюстрации можно привести такие природные аналогии как стебли и ветки с их узловыми участками, суставы в теле живых существ и пр. (рис.1).



**Рис.1. Примеры узловых напряженных участков в природе**

Приведенные природные аналогии можно соотнести (с определенной долей допущения) с проблемами в городской системе: при внешнем воздействии или же благодаря внутренним факторам, нарушающим исходную организацию, функционирование элементов природной среды ставится под вопросом или возникает новый порядок, обеспечивающий жизнедеятельность и самоорганизацию (рис.2).



**Рис. 2. Излом, вертикальное положение и аномальный изгиб стебля**

Жизнедеятельность человека, в том числе и проектная деятельность, основана на анализе природных закономерностей и синтезе, имеющих в итоге вид рукотворной природы. Процессы, учитываемые при проектировании искусственной среды, напрямую связаны с потребностями человека. Но заложить в проекте все ситуации невозможно в силу сложности предсказания прогресса. На сегодняшний день очевидно и то, что прогноз действия генерального плана в городах на 20-50 лет зачастую перестает отвечать действительности раньше, чем генеральный план законодательно вступает в силу.

Развитие города далеко не всегда подчиняется законодательно регулируемому порядку. В силу различных причин в систему, заложенную градостроителями, привносится хаос, обусловленный меняющимися потребностями жителей. Запланированная ранее и просчитанная модель развития городских территорий претерпевает изменения, способные в итоге разрушить комфортность среды.

Не являются исключением и такие пространства городов как площади, сформированные вокруг или вблизи крупных авторазвязок: перекрестков, колец, эстакад. Однажды разрешенная временная торговля на пешеходных путях через площади, в подземных пешеходных переходах или вдоль улиц на узловых городских участках становится постоянной, расширяясь и принципиально меняя процесс эксплуатации занимаемых территорий.

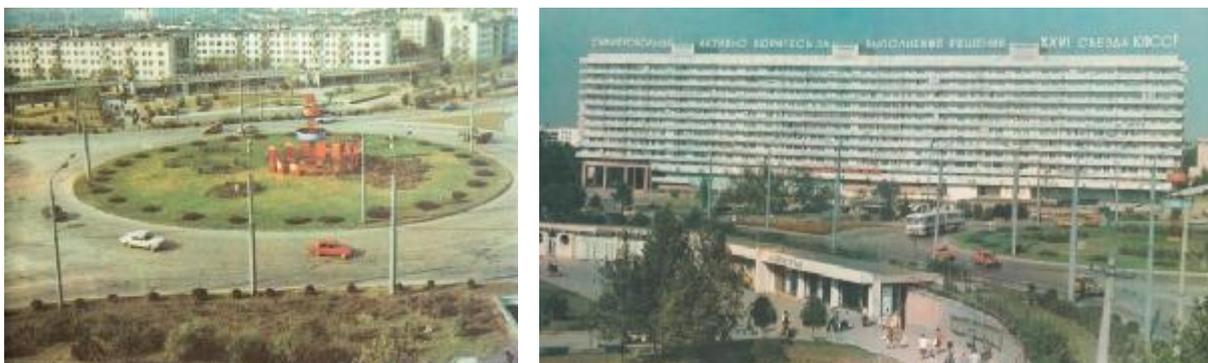
В настоящее время обильное количество торговых точек обеспечивает жителям определенное удобство, сокращая время, уделяемое бытовым процессам. Безусловно, крайне удобно, когда существует возможность совершить покупки в любом месте, где бы мы не находились, однако это так же создает ряд определенных проблем таких как:

- хаотичная застройка ларьками, киосками, торговыми павильонами;
- антисанитарное состояние близлежащей к торговым точкам территории;
- загромождение проходов, влекущее за собой препятствие для пешеходных потоков, а также опасность для пешеходов в случае загрузки или обслуживания торговых мест;
- потеря свободного пространства, которое могло бы послужить местами для сбора граждан, их отдыха, а так же тихой зоной для пешеходов.

На сегодняшний день этот вопрос зачастую никак не решается, и если подобную практику не прекратить – это может привести к коллапсу в таких общественных местах.

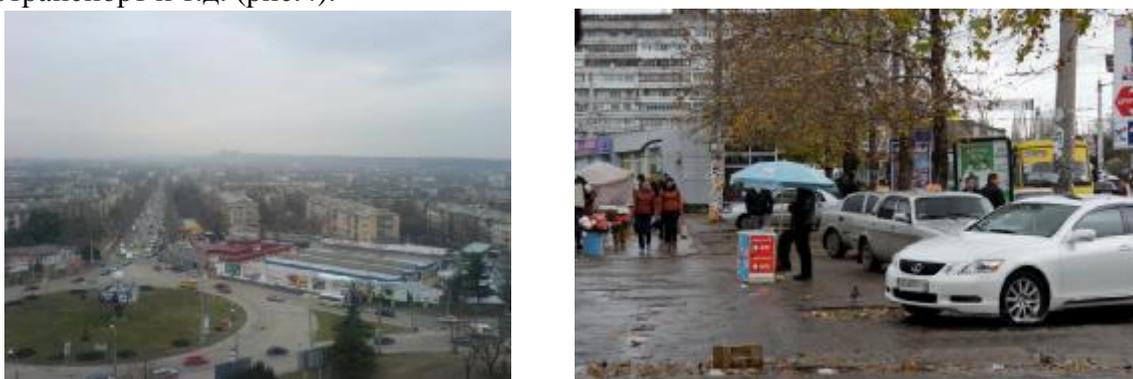
Рассмотрим типичную ситуацию на примере г. Симферополя. В городе есть несколько основных кольцевых развязок. Их объединяет общая проблема – обильное заполнение пешеходных площадей предприятиями торговли и бытового обслуживания. В качестве аналитической схемы и отображения идеи приведем площадь Московскую.

До 90-х годов 20-го века данный участок имел озеленяемые места отдыха, большой запас для перспективного расширения автодорог, сосредоточенные в определенных зданиях торговые учреждения, удобные для пользования ими, широкие подземные переходы (рис.3).



**Рис.3. Площадь Московская (г.Симферополь) в ее изначальном виде**

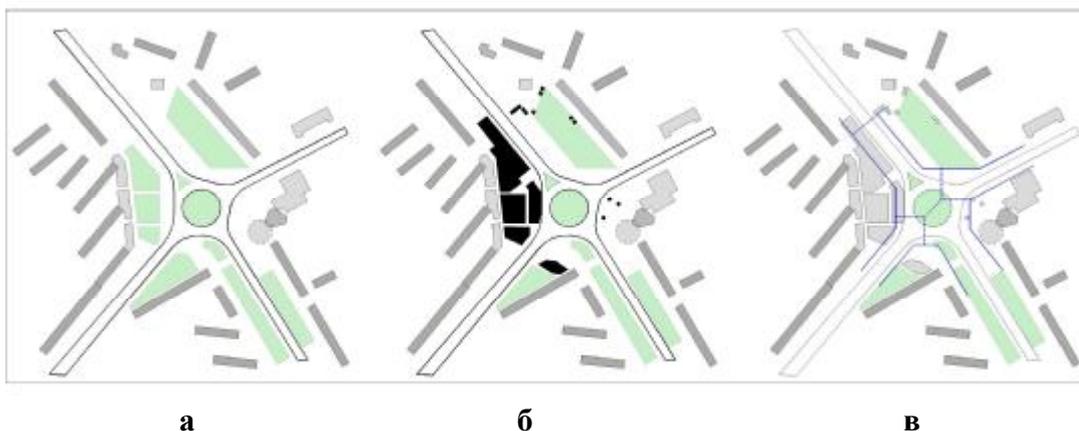
В последующие годы последовало активное и беспорядочное внедрение торговых предприятий в непредназначенных и непригодных для этого местах – с одной стороны, и изменение назначения уже существующих предприятий торговли и бытового обслуживания – с другой. Сегодня площадь Московская представляет собой труднопроходимые пешеходные связи, заполненные торговцами подземные переходы, полностью застроенную бутиками некогда благоустроенную площадь. К тому же, тенденция занимать оставшиеся «зеленые» участки земли все еще существует: устанавливаются павильоны, мобильные торговые точки, палатки, паркуется личный автотранспорт и т.д. (рис.4).



**Рис.4. Площадь Московская (г. Симферополь) в настоящее время**

Название данного места в городе теперь вряд ли можно соотнести с площадью, потому как нет возможности для сбора граждан: проведения торжеств, ярмарок, массовых общественных мероприятий и пр.

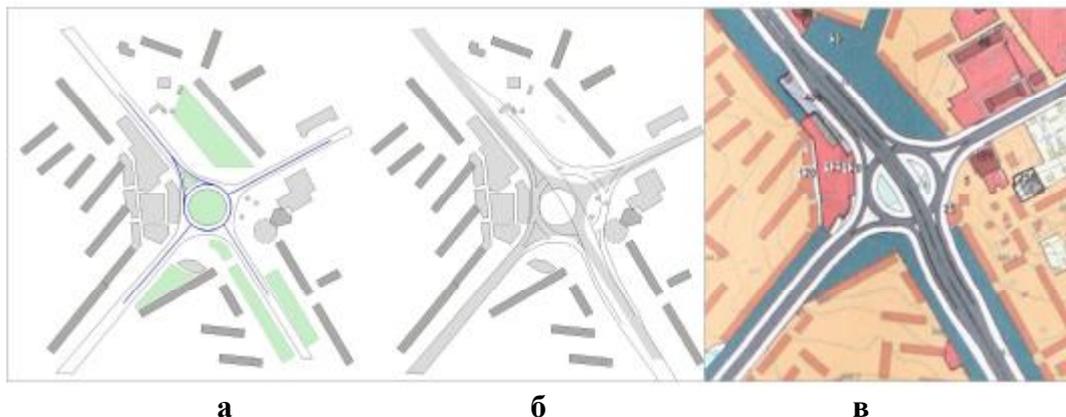
Сложившаяся ситуация сформирована постепенно, и вектор развития ее предсказуем на основании других похожих узлов концентрации транспортно-пешеходных связей в этом же рассматриваемом городе – в итоге это дискомфортная городская среда, исправить ситуацию в которой возможно лишь радикальными способами. Однако радикальные пути решения так же не учитывают реальные потребности населения, которые и сформировали почву для возникновения незапланированных, хаотичных градостроительных образований.



**Рис.5. Планировочная организация территории городской авторазвязки:**  
**а – изначальная планировочная структура (до 90-х гг. 20в); б – сегодняшняя ситуация; в – схема пешеходных связей.**

На рисунке 5 даны схемы изменений, возникших в течение последних 20-ти лет. Очевидна тенденция увеличения потребности в общественных зданиях, торговых площадях и учреждений сферы обслуживания. Так же очевиден беспорядочный рост пятна застройки, ведущий к дискомфортной среде.

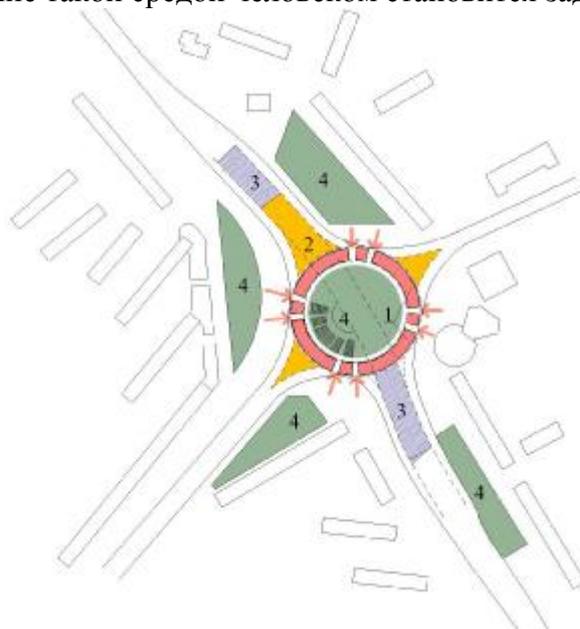
Действующий генеральный план г. Симферополя предусматривает реконструкцию транспортной развязки вследствие возросшего уровня автомобилизации, однако «соглашается» с деформированной планировочной организацией бывшей площади и всеми неудобствами, связанными с этим (рис.6). Таким образом, радикальное изменение не оставляет потенциала для дальнейшего развития (возможно, также не предсказуемого) общественного городского узла. Мало того, увеличение транспортной пропускной способности еще больше ущемляет жителей данной части города, не предлагая альтернативы пешеходам.



**Рис.6. Вариант генерального плана:**  
**а – схема транспортного движения; б – схема наложения генплана на существующую ситуацию; в – фрагмент генерального плана.**

Описанная ситуация, увы, имеется практически в любом городе. Сиюминутное решение одних проблем закладывает фундамент для еще более крупных и трудноразрешимых.

Научный подход к решению вопроса может дать тот вариант архитектурно-планировочной организации городских общественных пространств, который способен гибко реагировать на изменения в потребностях жителей и избегать конфликтных участков без ухудшения общей градостроительной ситуации. Путь отказа или запрета для возникающих нововведений и тенденций в городской жизни принципиально не отличается от отказа или запрета прогресса в целом. Дискомфорт и неудовлетворенность граждан в возникающих преобразованиях опирается лишь на невозможность существующей структуры отреагировать и адаптироваться к новым условиям. Так, до сих пор мало внимания уделяется возможности архитектурного использования пространства, отводимого под авторазвязки. Зачастую решается узкая задача с приоритетом, отданным транспорту, а пользование такой средой человеком становится задачей второстепенной.



**Рис.7 Использование пространства под авторазвязкой и в уровне земли:**  
**1 – учреждения торговли; 2 – складские и технические помещения;**  
**3 – предприятия автотранспорта (парковки, сто, мойки и т.д.); 4 – благоустраиваемые участки.**

На рисунке 7 приведена предлагаемая схема планировочной организации авторазвязки и площадей, примыкающих к ней, после реконструкции. Изменив подход к проблеме, и посмотрев на нее с разных позиций, видится более рациональным выбор пути не борьбы с увеличением или уменьшением торговых точек, а сосредоточении их в одном месте. В различных городах в мире практикуется строительство торговых центров, магазинов под землей. Чаще всего такое строительство происходит согласованно с пешеходными путями и в местах основных узловых развязок. Как следствие – происходит экономия надземного пространства, которое можно занять с учетом потребностей в будущем, а так же благоустройством, парками и скверами. Путь интеграции общественных зданий в структуру транспортных путей видится более перспективным и оптимальным вследствие более рационального освоения городских земель.

#### **Выводы**

1. Большие площади городских территорий, выделяемые под движение транспорта, могут быть использованы для строительства ряда общественных зданий, а также организации беспрепятственного пешеходного движения;

2. Каким бы ни было решение узловых точек в городе согласно генеральному плану, рано или поздно потребуются изменения транспортных путей и повышение пропускной

способности. Это тенденция последних десятилетий, и, прогнозируя дальнейший рост городов, допускается, что она может лишь набирать интенсивность, и снижения уровня автомобилизации может не наступить. Данный же подход оставляет возможность расширения дорог;

3. Более полно раскрывается потенциал городских территорий;

4. Рассматривая транспортные развязки как часть системы, автор допускает, что достигается основная цель – создается более гибкая функционально-планировочная организация общественных пространств, способная реагировать на изменчивые условия городской жизни без дисбаланса составляющих ее элементов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаренкова З.В. Планировочная организация транспортно-пересадочных узлов / Пышкин Н.С. // Журнал Academia. Архитектура и строительство. – 2011. - №1. – С. 76-80.
2. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. – М., 1971
3. Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональной системы. М.: Наука, 1980. – 196 с.
4. Пышкин Н.С. Систематизация городских транспортно-пересадочных узлов / Пышкин Н.С. // Журнал Academia. Архитектура и строительство. – 2010. - №2. – С. 71-76.
5. Сидоров Е. "Аномальные" деформации стеблей. Условия возникновения [Электронный ресурс] / международный информационно-аналитический ресурс "UFOlats" – 2012 . – Режим доступа к ресурсу: <http://www.ufo.lv/rus/articles/author/2012/?51782>
6. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 406 с.

*УДК 7217..72.03*

### ИСТОРИЧЕСКИ СЛОЖИВШИЕСЯ ПРОЦЕССЫ ИНТЕГРАЦИИ ОБЪЕКТОВ АРХИТЕКТУРЫ С ТРАНСПОРТНЫМИ ПУТЯМИ

**Пчельников В.Н., Сухотина А.А.**

В статье приведена историческая справка о развитии дорог, возникновении синтеза дорог и архитектурных объектов. Рассмотрены исторические памятники. Даны примеры современного проектирования и строительства зданий и сооружений над наиболее напряженными участками транспортно-пешеходных узлов в городской среде за рубежом. Приведены примеры отечественных проектных предложений интеграции зданий и дорог. Сделаны выводы, характеризующие накопленный опыт в русле проводимого исследования.

**Ключевые слова:** дорога, архитектура, синтез

#### ВВЕДЕНИЕ

В толковом словаре даются следующие определения слову «дорога» [10]:

- полоса земли, предназначенная для передвижения, путь сообщения;
- место, по которому надо пройти или проехать, путь следования;
- путешествие; пребывание в пути;
- образ действий, направление деятельности.

Все смысловые нагрузки понятия «дорога» ежедневно переживаемы практически любым человеком. Мы оставляем часть нашей жизни, находясь в дороге, и значение дорог в нашей жизни столько же велико, сколь и незаметно с первого взгляда. Какова же история дорог, как человек стремился расширить функциональное наполнение путей

следования и каков опыт проектирования архитектурных объектов, совмещенных с дорожным пространством?

Идея строительства над транспортными сетями органична и имеет свою историю. Проекты надпутевого строительства на протяжении последних лет успешно реализовывались в Берлине, Гонконге, Нью-Йорке. Эта тема актуальна для крупных и крупнейших городов в связи со значительным распространением исследуемого явления, и заключается в необходимости разработки рекомендаций по совершенствованию проектных предложений в рассматриваемой области. Продолжающаяся активная автомобилизация, рост дорожного строительства в растущих городах сопровождается мощными отрицательными процессами: гибелью большого количества людей при автомобильных авариях, загрязнением окружающей среды и связанными с этим изменениями условий жизнедеятельности человека, а также неминуемом ограничении вариантности градостроительных решений в силу приоритета, отдаваемого удобству машин за счет удобства горожан и их пешеходного передвижения. Строительство и эксплуатация автомобильных дорог без учета эстетических и экологических факторов вызывали и вызывают внутренние и внешние изменения в ландшафте, производящие к дальнейшим неконтролируемым разрушительным процессам в природе и в духовном состоянии человека.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Существующие литературные источники, упоминающие о взаимосвязи дорог и сооружений, а также сохранившиеся памятники архитектуры [7] раскрывают стремление человека в определенных условиях наполнить транспортно-пешеходные связи более широкими функциями.

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

Цель статьи – сделать обзор исторического опыта интегрирования зданий и сооружений в пространство, отводимое под дороги.

Задачи:

- проследить историческое развитие дорог и придорожных зданий и сооружений;
- рассмотреть современный мировой опыт проектирования взаимосвязи дорог и архитектурных объектов.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

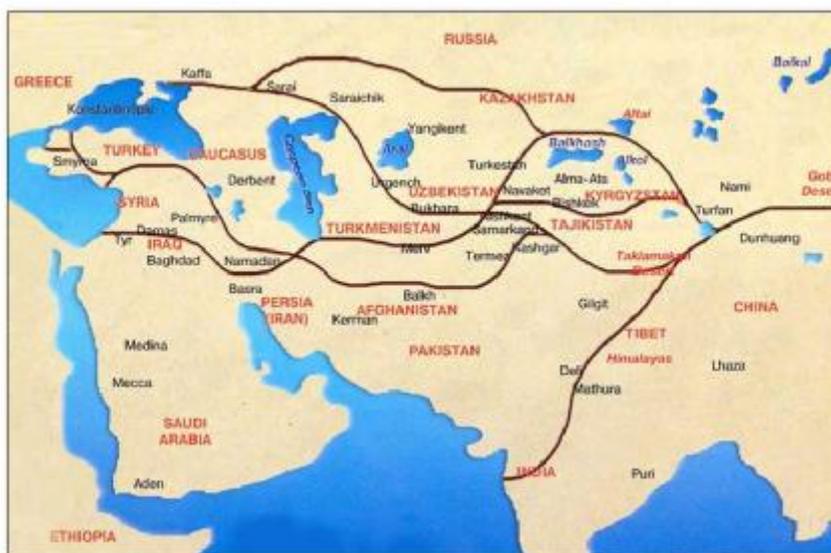
История возникновения и развития дорог

Издавна люди стремились придать дорогам эстетические качества и сделать путешествия по ним безопасными, неутомимыми и даже приятными.

Первые сведения о дорогах история датирует IV тысячелетием до нашей эры. Одна из них – дорога возле города Ур, который является одним из первых городов шумерской эпохи. Развитие дорог было изначально обусловлено военными целями. Первые дорожные сети появились в Ассирии, затем в Персии, а на рубеже эпох самая большая сеть дорожных путей возникла в Древнем Риме. Вдоль нее устанавливались каменные столбы, на которых указывалось расстояние до ближайшей деревни, города или станции, где можно было отдохнуть, покормить или сменить лошадей, пополнить продовольственные запасы. В начале нашего времени дорожная сеть была уже хорошо развита, появляются первые трансконтинентальные пути. Один из них – Великий шелковый путь, соединяющий Средиземноморье и Восточную Азию (рис.1).

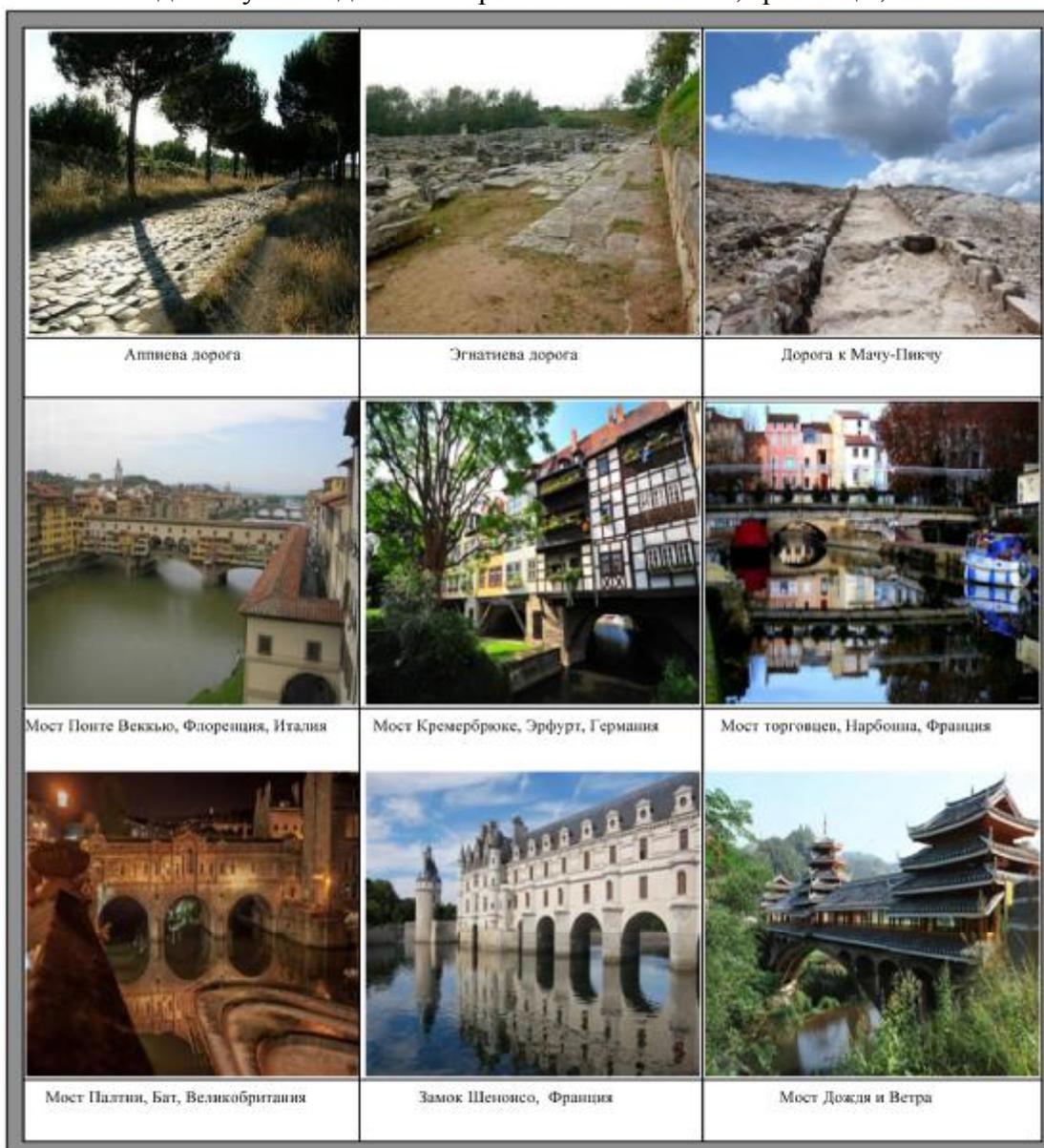
Одна из самых известных дорог Древней Греции – Дорога процессий – соединяла в Древнем Вавилоне храм Эсагилу и ворота Иштар. Сакральные дороги характерны присутствием вдоль них различных архитектурно-художественных объектов: ворот, стел, обелисков, скульптурных изображений, декоративных стенок.

Королевские дороги. В Древнем Риме была построена крупнейшая в мире сеть дорог. Вдоль дорог сооружались храмы. Также возле дорог императорами и состоятельными гражданами сооружались памятники, прославлявшие императоров, военачальников, победы римских войск.



**Рис. 1. Великий шелковый путь. Карта**

Аппиева дорога. Аппиева дорога была одной из первых самых главных дорог в Древнем Риме. Вдоль пути следования строились памятники, гробницы, башни.



**Рис. 2. Исторические примеры дорог и интеграции зданий и сооружений в них [4, 5,7]**

Эгнатиева дорога. Римляне строили прямые дороги, поэтому болота засыпались грунтом, а в горах делались тоннели. Дорогу строили на возвышении 50 см от грунта и покатой формы. По бокам от нее находились дренажные каналы, благодаря чему вода не могла размывать основание.

Риджуэйская дорога. На пути Риджуэя много исторических памятников и памятников архитектуры различных веков, начиная от неолита. Также крепости бронзового и железного веков.

Дорога к Мачу-Пикчу. На протяжении всех дорожных путей инков строились постоянные дворы, в которых можно было отдохнуть. Находились они на абсолютно равном друг от друга расстоянии. Километраж на дорогах указывали межевые столбы, называемые топо.

Московское шоссе. На дорогах устанавливались верстовые столбы и станции, где путешественники могли остановиться на ночлег, поменять лошадей и пополнить продовольственные запасы.

Мост Понте Веккьо, Флоренция, Италия. Понте Веккьо всегда был местом активной торговли: раньше его занимали мясные лавки. Верхняя часть моста — коридор Вазари — была построена персонально для герцога Козимо I, чтобы он мог перейти с одного берега на другой, минуя торговые ряды.

Мост Кремербрюке, Эрфурт, Германия. Каменный мост через один из рукавов Геры был возведен в 1325 году и являлся частью «царского» торгового пути.

Мост торговцев, Нарбонна, Франция. Шестиарочный мост над Одой был построен римлянами во II веке, однако затем река изменила русло. В 1686-1776 годах по пересохшему руслу проложили канал де ла Робен.

Мост Палтни, Бат, Великобритания. Пересекающий реку Эйвон мост построен в 1769-1773. В настоящее время на Палтни организованы пешеходная зона и автомобильное движение.

Замок Шенонсо, Франция. История замка берет начало в 1200-х годах, однако расцвет пришелся на то время, когда его хозяйкой была Екатерина Медичи. При ней в 1580 году на каменном мосту через реку Шер построили двухэтажную галерею, где проводились пышные балы.

Мост Дождя и Ветра. Мост построен в 1912 году. Сооружение возведено без применения гвоздей: на пяти каменных опорах уложены бревенчатые настилы. Мост соединяет две густонаселенные деревушки и служит зоной торговли и отдыха [8].

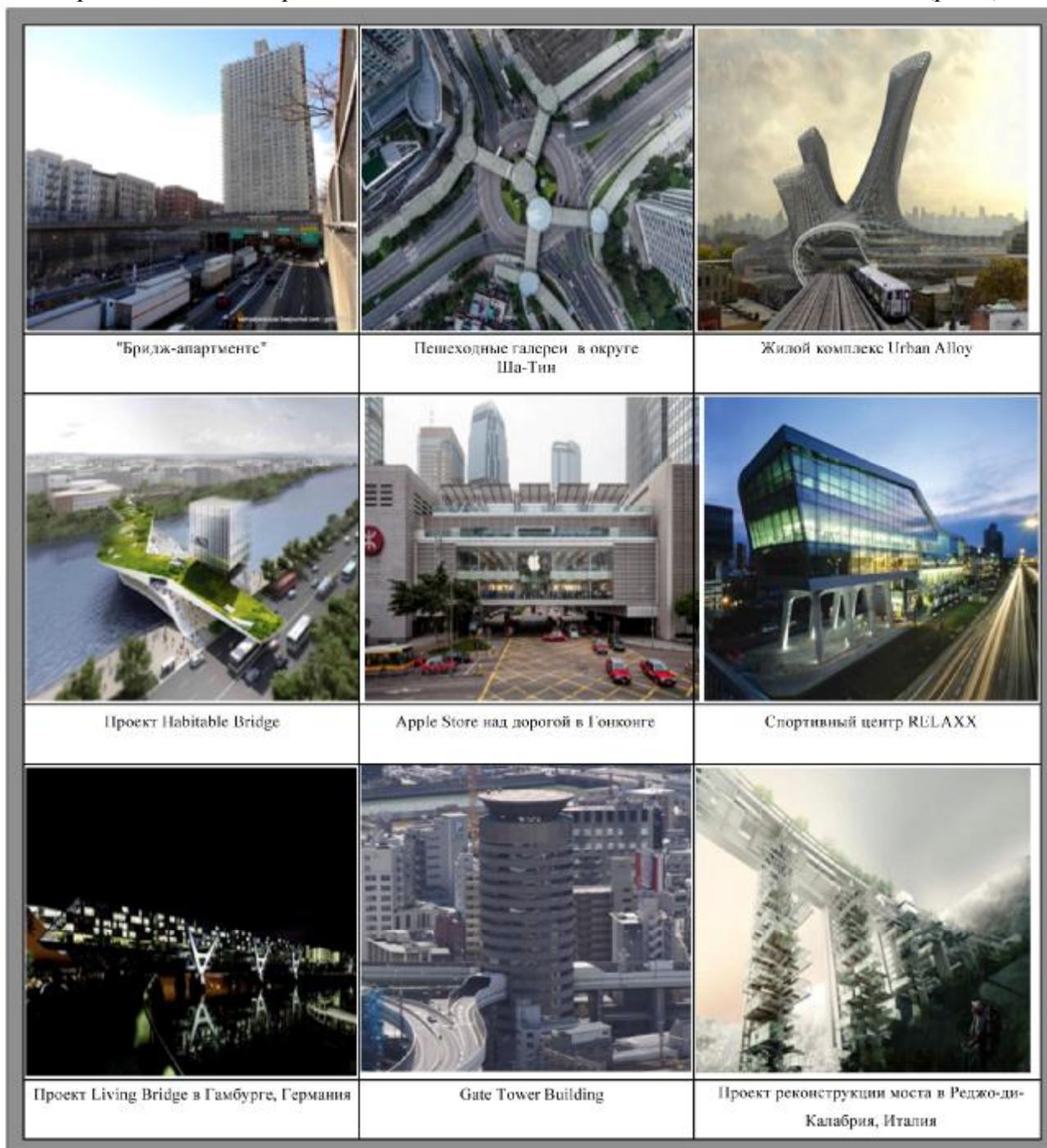
#### Мировой и отечественный опыт

Дом над дорогой. На севере Манхэттена находится один из самых спорных жилых комплексов Нью-Йорка под названием «Бридж-апартаментс». Он находится прямо над скоростной магистралью Трансманхэттен-экспрессуэй - одной из самых загруженных транспортом дорог не только в США, но и в мире. Это было одной из первых попыток в США использовать пространство над магистралью. На небольшом участке над дорогой был возведен новый автобусный вокзал и жилой комплекс, состоящий из четырех 32-этажных зданий. На нижних этажах обустроены прачечные и подсобные помещения. Рядом станция метро. Внизу многоуровневая парковка для жильцов. К комплексу примыкает автобусный вокзал, построенный в 1963 году, он имеет оригинальную конструкцию и специальную систему вентиляции.

Спортивный центр RELAXX. Einsteinova Road – одна из наиболее оживленных улиц Братиславы, расположена не очень удачно. Финальный образ здания – это результат экспериментов в проектировании коммерческой архитектуры. Это результат сравнения угловатого замкнутого автомобильного кольца и старой железной дороги, с которой открывается панорама на реку Danube.

Жилой комплекс Urban Alloy. Жилой комплекс Urban Alloy (2014г.) поднимется в воздух над городскими магистралями. С каждым днем в мегаполисах всего мира все острее ощущается недостаток свободной территории. Для решения этой проблемы

архитекторы предложили использовать незадействованные «воздушные» пространства над транспортными перекрестками и ж/д линиями. Пожалуй, ключевым моментом возведения Urban Alloy стала идея проживания в непосредственной близости от транспортных развязок, что позволит значительно сэкономить время на передвижение к магистралям. Это своеобразный мост из железа и стали над эстакадами из бетона (рис.3).



**Рис. 3. Мировой архитектурный опыт интеграции зданий и дорог [1, 2, 3, 8]**

Проект реконструкции моста в Реджо-ди-Калабрия, Италия. Опоры столбов представляют «вертикальные деревни», соответствующие последним экологическим стандартам.

Проект Living Bridge в Гамбурге, Германия. Сооружение длиной 700 метров, перекинутое через разветвленный участок Эльбы, должно значительно улучшить транспортную ситуацию в районе и стать новым центром притяжения. Нижний уровень отведен под автомагистраль, второй – под 16 жилых корпусов, между которыми будет озелененная прогулочная зона с кафе и бутиками.

Проект Habitable Bridge. Мост представляет собой многофункциональный культурно-просветительский комплекс с музеем, аудиториями, медиатекой, библиотекой, выставочными залами, ресторанами и другими социально ориентированными объектами.

Gate Tower Building. Gate Tower Building – 16ти-этажное офисное здание в Фукусима-ку, Осака, примечательное тем, что прямо сквозь него проходит шоссе. Дорога проходит прямо через здание, занимая пространство с 5-го по 7-й этажи включительно. Шоссе и здание нигде не соприкасаются, в этом смысле шоссе больше напоминает мост, проложенный сквозь брешь в доме, со своими собственными опорами. Также стены тоннеля, в котором проходит шоссе, имеют необходимый уровень звукоизоляции. Здание стали возводить после постройки трассы. Автобан сдан в эксплуатацию в 1983 году, а небоскрёб в 1992 году.

Apple Store висит над дорогой в Гонконге, где Gloucester Road – главная автомагистраль на острове Гонконг. Таких переходов здесь очень много и все они оборудованы лифтами и эскалаторами. Человек в инвалидном кресле без труда сможет пересечь автомагистраль без помощи посторонних.

Отечественный проектный опыт в области интеграции архитектурных объектов в область дорог представлен проектом «Галактика» в Москве. В нем проектируются гостиница, магазины и перехватывающая парковка. Другая идея - строить парковки над столичными шоссе. Авторы идеи считают, что территория рядом с проезжей частью и над ней никакого полезного потенциала для горожан не имеет. Ведь она не только загрязнена, но и недоступна для москвичей. Зато придорожная зона и сам воздух над трассой - это огромное пространство, которое можно задействовать для организации парковок.



Рис. 4. Отечественный архитектурный опыт интеграции зданий и дорог [6]

Проект предполагает установку модульных надземных конструкций над дорожным полотном, куда можно ставить автомобили. Также известны проекты в виде транспортно-пересадочных узлов (ТПУ). Такие узлы позволяют пассажирам в комфортных условиях пересаживаться с одного вида транспорта на другой, не испытывая затруднений при поиске нужных маршрутов и не страдая от погодных условий. Там же могут располагаться перехватывающие парковки, магазины, офисы, рестораны.

Проект многофункционального центра в Екатеринбурге, Россия. Полукилометровый мост, соединяющий берега Сибирского гранитного карьера с комплексом Уральского федерального университета. В сферических конструкциях предложено разместить аудитории, лекционные залы, интернет-кафе, выставки, спорткомплексы и жилые помещения для студентов и преподавателей (рис.4).

### **Выводы**

На основании проведенного анализа исторического развития синтеза архитектуры и транспортных путей можно сделать следующие выводы:

- за всю историю строительства дорог люди стремились привнести в наиболее ответственные участки дополнительные функции. Как правило, военного назначения, культового или общественного содержания;

- с развитием городов тенденция полифункциональности на участках прохождения транспортных путей возрастает в силу стремления использовать выгодное положение городских земель;

- на современном этапе градостроительства проектировщики все чаще рассматривают общественную функцию равнозначной основной (коммуникативной) на ответственных участках городских транспортно-пешеходных связей. Предлагаются различные варианты архитектурно-пространственного освоения дорог.

### **Список источников**

1. Гонконг: вид сверху [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.geo.ru/photo/gallery/gonkong-vid-sverkhu?page=9>
2. Гонконг [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://loveopium.ru/aziya/gonkong.html>
3. Дом над дорогой [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://samsebeskazar.livejournal.com/205322.html>
4. Дороги [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.letopis.info/themes/roads/>
5. Жилой комплекс Urban Alloy поднимется в воздух над городскими магистралями [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.novate.ru/blogs/290414/26165/>
6. Московские архитекторы предлагают строить парковки над дорогами [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://realty.rbc.ru/articles/21/11/2013/562949989677692.shtml>
7. Самые красивые дома-мосты мира [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://nnm.me/blogs/thread1/samye-krasivye-doma-mosty-mira/#cut>
8. Gate Tower Building [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: [http://en.wikipedia.org/wiki/Gate\\_Tower\\_Building](http://en.wikipedia.org/wiki/Gate_Tower_Building)
9. RELAXX sport and leisure center [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.archdaily.com/11405/relaxx-sport-and-leisure-center-ak2/>
10. С.И. Ожегов, Н.Ю. Шведова Толковый словарь русского языка [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.classes.ru/all-russian/russian-dictionary-Ozhegov-term-7462.htm>

## ЭВОЛЮЦИОНИРОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА-КОМПЛЕКСА КАК ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЕДИНИЦЫ

Рябова М.Г.

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

Статья посвящена обзору эволюции многофункциональных жилых-домов комплексов. Рассмотрены основные этапы развития многофункциональных жилых домов-комплексов. В каждом этапе раскрыты основные характерные черты и факторы, влияющие на объемно-планировочную структуру многофункциональных жилых домов-комплексов. В процес се анализа литературы определено влияние главных социально-экономических факторов на эволюцию и формирование сложной структуры комплекса. Обозначена актуальность нового структурного жилого образования, а также современные объемно-планировочные формы организации жилой среды.

**Многофункциональность, дом-комплекс, жилая среда, эволюция**

### ВВЕДЕНИЕ

Многофункциональный жилой комплекс является современной формой организации жилой среды города, в которой наиболее полно реализуются потребности человека в жилье, работе, отдыхе и общении.

*Многофункциональные жилые комплексы (МФЖК)* - наиболее перспективная форма пространственной организации жилой среды города, в которой отразились потребности современного человека в разнообразном и многозначном городском окружении, удовлетворяющем его в жилье, работе, общении и отдыхе[2].

### АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Все более актуальным в современном мире становится проектирование и строительство многофункциональных комплексов, которые сочетают несколько функций: торговую, офисную, жилую, развлекательную, спортивную и т.п. Такие здания являются одним из лучших средств для стратегического развития города.

Опыт градостроительства в XX веке показал, что при росте городов жесткое разделение города на зоны (жилые, промышленные, торговые) становится неэффективным и может привести к неравномерному развитию территорий, возрастанию нагрузки на транспортную сеть. Многофункциональные комплексы помогают распределению населения в ночное и в дневное время в районах и позволяют оптимально использовать магистрали, а также площади стоянок.

Проходящие социально-экономические процессы в современном обществе, привели к пересмотру принципов организации жилой застройки. Эволюция градостроительных принципов привела к необходимости повышения степени урбанизации, плотности застройки, расширению функциональных связей между общественными и жилыми элементами городской среды, к формированию многофункциональных жилых комплексов с «открытой» системой обслуживания.

Все вышеперечисленное говорит об актуальности изучения данной темы и о необходимости изучения студентами – архитекторами.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Исследование в области эволюции многофункционального дома-комплекса как градостроительной единицы базируется на изучении и анализе специализированной литературы, посвященной проектированию и строительству жилых и общественных зданий.

Основным материалом для развития темы явилась статья аспиранта ИАрХИ ЮФУ Ю.А. Скоблицкой. В указанной статье широко представлены основные этапы развития, а также их характерные черты многофункционального дома-комплекса. Дополнительно

при изучении темы были рассмотрены периодические издания с представленными современными объектами по тематике[1].

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

Целью данной статьи является изучение истории формирования и развития жилой градостроительной единицы, которой является многофункциональный жилой дом-комплекс.

Основные задачи:

- определить историческое становление жилой среды вышеуказанного типа;
- выявить основные этапы формирования объемно-пространственной и архитектурно-планировочной структуры многофункционального жилого дома.
- определить основные направления развития и эволюции градостроительной единицы.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ**

Многофункциональность - один из важнейший принципов организации жилой среды. Трансформировался и развивался данный принцип вместе с эволюцией общества, обуславливая различные приоритетные формы и функции жилища в различные исторические эпохи.

Инфраструктура обслуживания сложилась, практически, одновременно с самим жилищем. Еще с древних времен торговля, будучи одним из важнейших градообразующих элементов практически всегда была тесно взаимосвязана с жилыми помещениями. На протяжении всей истории развития общества, и соответственно жилища, наблюдаются этапы объединения и разделения различных функциональных групп помещений в его структуре. В течение многих столетий жилище человека представляло собой односемейный дом, который объединял в себе жилой дом и место трудовой деятельности человека.

Рост промышленного производства, появившиеся при этом торговые и деловые учреждения (магазины, рестораны, салоны и пр.) обусловили целесообразное и рациональное их блокирование и встраивание в структуру жилища. Таким образом, процессы, определившие в свое время отделение производства от жилища, впоследствии стали причиной объединения и возникновения новых типов многофункциональных зданий и комплексов. В проектах первых жилых комплексов/поселков предусматривалось строительство школ, дошкольных учреждений, магазинов, домов культуры в непосредственной близости к жилищу [3,4,5].

Анализ современных тенденций в архитектурно-планировочной и градостроительном проектировании показал, что одной из наиболее эффективных форм организации жилой среды крупнейшего города, в которой отразилась потребность современного человека в разнообразном городском окружении, удовлетворяющем его потребности в работе, жилище и отдыхе, становятся многоэтажные жилые комплексы с обслуживанием [6,7].

В проектировании и строительстве многоэтажных жилых комплексов в России можно выделить следующие этапы:

В 1920-х гг. получила распространение в мировой практике архитектуры и градостроительства идея дома-коммуны и жилого квартала (площадью 1,5-2 га). В этот период основная часть проектируемого жилища создавалась для проживания рабочего класса, людей с небольшим уровнем доходов.

В 20-е годы активно развивалась концепция дома с коллективным обслуживанием (использованием вспомогательных площадей – кухонь, ванных, прачечных и пр.). Принципиальными характеристиками домов такого типа явились: выделение из квартиры функций питания, воспитания детей, стирки – вообще, это выражалось в обобществлении быта. При этом считалось, что коллективное обслуживание значительно удешевляет жилище [10].

В 1950-х гг. вновь проектируемые города, новые районы городов создавались на основе микрорайонной системы и рассматривались как деловой центр и спальные

периферийные жилые районы, где квартира удалялась от насыщенного общественной жизнью городского центра, массовое жилище при этом являлось жилым комплексом. Жилище создается уже не для контроля над людьми, а для удобства проживания, но так же, как и в предыдущий период, предназначается для рабочего класса (в данный период не рассматривалось понятие уровня доходов населения) [1].

В 1960-х гг. зародилась идея многоэтажных жилых комплексов как альтернативный принцип организации гуманной городской жилой застройки, отражающей требования увеличения ее плотности, интеграции жизни, укрупнения и многопрофильности деловых центров и обслуживания. Городское функциональное зонирование послужило выделению из структуры жилища большей части функциональных процессов и способствовало разделению города на жилую и деловую зоны, что позднее негативно сказалось на социальной структуре города, возникли проблемы с транспортом. Требования, предъявляемые к организации обслуживания жилых кварталов, обусловили появление предприятий приближенного обслуживания населения (первой ступени обслуживания), включающих необходимый набор учреждений обслуживания (хозяйственно-бытовых, торговых, физкультурно-оздоровительных, образовательных, детских, рекреационных и пр.) – так стали появляться жилые комплексы с обслуживанием.

Данный период можно обозначить как переломный и основной. В России и за рубежом происходит формирование основополагающих концепций жилых комплексов с обслуживанием.

Началась реформация концепции микрорайонирования в пользу создания высокоплотной многопрофильной городской среды. Именно в этот период сложилась концепция многофункционального жилого комплекса – отвечающая всем требованиям организации жилой среды, как на территориях нового строительства, так и при реконструкции сложившейся застройки [10,8].

В 1970-1980-е годы в СССР складываются основные приемы проектирования жилых комплексов как открытой так и закрытой системами обслуживания. Определяется оптимальный состав помещений обслуживания в структуре жилых домов-комплексов. В результате экспериментального проектирования была выявлена номенклатура помещений обслуживания в многоэтажных жилых домах/комплексах, также была выявлена суммарная площадь всех помещений обслуживающих учреждений (принималась из расчета 0,5-0,75 м<sup>2</sup> на одного человека, с учетом вместимости дома/комплекса и принятой системы обслуживания). В данный период жилищное строительство было неотделимо от решения системы социально-бытового обслуживания населения. Жилищное строительство осуществлялось преимущественно в виде крупных жилых комплексов, включающих не только жилые дома, но также сооружения культурно-бытового обслуживания населения (детские учреждения, магазины, спортивные сооружения и пр.). Архитекторами было выявлено, что комплексный метод застройки жилых территорий создает значительные преимущества в организации жилой среды, обслуживания населения, осуществления благоустройства и инженерного оснащения территории и всего метода строительства в целом [9,1].

В 1990-е гг. в России в проектировании выявлены первые проекты крупных многоэтажных жилых комплексов, высотные жилые комплексы с развитой социально-бытовой структурой, отвечающие основным требованиям современного человека. В этот период создаются жилые комплексы, доступные исключительно людям с высоким уровнем доходов, полностью отвечающие требованиям данной категории населения, при этом жилище такого типа практически недоступно людям со средним уровнем доходов и недостижимо для людей с низким уровнем доходов. Повышение эффективности использования городских земель и комфортная среда для проживания, благодаря оптимальной функциональной насыщенности, обусловили большое распространение многоэтажных жилых комплексов с обслуживанием на данном этапе (табл. 1).

Таблица 1

## Основные этапы формирования многоэтажных жилых комплексов

Основные этапы развития	Основная характеристика	Основная социальная направленность
1920-1940 гг.	-первые попытки создания прототипов жилых домов комплексов	Для людей с низким уровнем доходов (рабочий класс)
1950-е г.	-проектирование и строительство новых микрорайонов на основе жилых домов с приближенным обслуживанием	Для людей с низким уровнем доходов (рабочий класс)
1960-е г.	-зарождение основных требований и состава помещений жилых домов-комплексов, а также увеличение этажности	Для людей с низким и средним уровнем доходов (рабочий класс, интеллигенция)
1970-1980 гг.	-формирование основных требований и состава помещений жилых домов-комплексов -образование двух главных систем обслуживания комплексов : открытая и закрытая	Для людей с низким и средним уровнем доходов (рабочий класс, интеллигенция)
1990-2014 гг.	- проектирование и строительство крупных многофункциональных высотных жилых домов-комплексов	Для людей со средним и высоким уровнем достатка

Структура многоэтажных жилых комплексов с обслуживанием. На современном этапе проектирования и строительства можно выделить три вида жилых комплексов по их социальному статусу: элитные, клубные, коммерческие.

Внутренняя инфраструктура комплекса клубного типа специфична. В нем есть зал приемов, бильярдная, сауна, тренажерный зал, винный погреб (для жителей и гостей все бесплатно, т.к. все включено в стоимость эксплуатации). При этом предполагается, что жители имеют собственных парикмахеров, массажистов, врачей, приезжающих по вызову. Блок учреждений обслуживания доступен жильцам и гостям комплекса [1].

В коммерческих многоэтажных жилых комплексах обслуживание доступно не только жильцам данного комплекса. В структуре комплексов такого типа развита деловая составляющая обслуживания [10].

Эволюция принципов организации жилой застройки вела к повышению степени урбанизации, совершенствованию системы обслуживания населения, расширению функциональных связей между различными элементами городской среды. Сложился новый тип обслуживания – непосредственно при жилой группе в структуре жилых домов, отвечающий потребностям современного человека.

Анализ современного и отечественного опыта проектирования и строительства многоэтажных жилых комплексов с обслуживанием, было выявлено следующее:

- многоэтажные жилые комплексы, как правило, занимают довольно обширные территории, в среднем – 1,5-5 Га;
- все учреждения обслуживания размещаются либо на территории комплекса в отдельно стоящих зданиях, либо на первых этажах жилых домов. В зависимости от типа функционирования, учреждения обслуживания могут быть доступны не только жильцам комплекса[1].

Структура многоэтажного жилого комплекса включает различные элементы культурно-бытового обслуживания, соответствующих потребностям современного человека.

Задача создания многоэтажных жилых комплексов с обслуживанием в нашей стране заключается в последовательном развитии планировочной структуры города, и при этом решается целый ряд проблем: организация комфортабельной среды для проживания; создание развитого общественно-обслуживающего сектора; сохранение архитектурной целостности застройки.

В настоящее время определено направление организации сети общественного обслуживания, одним из основных элементов которого являются многофункциональные общественно-торговые центры, сосредоточенные в местах концентрации основных людских потоков и местах приложения труда, а также дополнительные комплексы приближенного обслуживания.

### **Выводы**

Исследование эволюции многофункциональных домов-комплексов выявило поэтапное образование новой объемно – пространственной структуры (независимой единицы, жилой среды). Рост социально-экономических потребностей общества совместно с техническими возможностями существенно влияют на градостроительное и архитектурное проектирование. Вследствие данного воздействия возникла типологически новая жилая структура (жилая единица, жилая среда) – многофункциональный жилой дом-комплекс. Начиная с исторической точки отсчета, данная структура была немного примитивна (упрощенная) и только время и прогресс привел к ее развитию, усложнению и «разрастанию». Эволюция жилой среды вышеуказанного типа началась с 20-х годов XIX века и продолжается по сей день. Каждое десятилетие вносит свои коррективы, заставляя ее постоянно изменяться, дополняться, чутко реагировать на потребности общества.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Скоблицкая Ю.А. Эволюция многоэтажных российских жилых комплексов с обслуживанием/ статья аспиранта ИАрХИ ЮФУ/Ю.А. Скоблицкая ;Ростов-на-Дону:ИАрХИ ЮФУ,2010.-196 с.
2. Максаи Дж., Холланд Ю., Нахман Г. и др. Проектирование жилых зданий. / Максаи Дж., Холланд Ю., Нахман Г. и др. Пер. с англ. - М.: Стройиздат 1979г.- 488 с., ил.
3. Григорьев И.В. Типологические особенности формирования высотных многофункциональных жилых комплексов: дис. ... канд. архитектуры / И.В. Григорьев. – М.: МАрХИ, 2003. – 232 с.
4. Дубынин Н.В. Эволюция развития архитектуры многофункциональных комплексов в России / Н.В. Дубынин // Жилищное строительство.– 1997.– №4.– 14-17 с.
5. Дубынин Н.В. Эволюция развития архитектуры многофункциональных комплексов в России / Н.В. Дубынин // Жилищное строительство. –1997. – №6. –13-16 с.
6. Иконников А.В. Архитектура XX века. Утопии и реальность. Т. I / А.В. Иконников. – М.: Пресс-Традиция, 2001. – 656 с.
7. Молчанов В.М. Теоретические основы проектирования жилых зданий / В.М. Молчанов.– Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. – 235с.
8. Солодилова Л.А., Трухачева Г.А. Многофункциональный жилой комплекс / Л.А. Солодилова, Г.А. Трухачева. – М.: Изд-во ассоциации строительных вузов, 2009. – 152 с.
9. Федяева Н.А. Многофункциональные жилые комплексы / Н.А. Федяева.– М.: МАрХИ, 1981. – 127 с.
10. Алексеев С.Ю., Миронов Е.И. Структура пространства жилых домов. Эволюция представлений / С.Ю. Алексеев.– Ростов-на-Дону: РАИ, 1995.– 57 с.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ШКОЛ

Яковенко Н.Е.

*Национальна академия природоохранного и курортного строительства*

В основе архитектурного проектирования лежит закон соответствия архитектурной среды той функции, для которой она предназначена. Современный учебный процесс многогранен и сложен с непрерывным развитием всех его элементов, методов, форм, средств, который обогащается новейшими достижениями научно-технического прогресса. Следовательно, здание школы должно иметь пространственную структуру, учитывающую все требования учебного процесса. В статье проводится анализ современного строительства школ в мире и Украине. И на основе проведенного анализа формулируются основные требования к проектированию современных школ.

**Школа, проектирование школ, школьные здания, функциональное зонирование школ.**

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в современном мире идет поиск новой школы, который был начат еще середине 70-х годов XX века. Основные вопросы, по которым идут поиски и научные исследования по определению оптимальных типов школьных зданий можно разделить следующим образом:

1. изменение форм и методов обучения, масштабов применения технических средств, комплексов и видов обучающей техники, применения методов программированного обучения;
2. влияние прогрессивных форм и методов обучения на формирование новой и реорганизацию традиционной функциональной структуры школьных зданий, на развитие функциональных групп помещений, на состав, площади и оборудование в связи с применением различных видов обучающих устройств;
3. совершенствование инженерно-технического уровня, строительство школьных зданий, с применением большепролетных конструкций для осуществления свободных и гибких планировочных решений, возможности трансформации помещений;
4. создание оптимального микроклимата, применение кондиционирования, верхнего, естественного и смешанного освещения, обеспечивающего свободную организацию помещений;
5. применение средств связи, передачи информации и управления учебным процессом;
6. расширение сферы деятельности школы в комплексе с общественными учреждениями жилых районов при взаимном использовании комплекса общественных зданий и школьного здания, как учащимися, так и жителями района.

Проводимые исследования осуществляются с учетом требований различных специальных областей наук: педагогики, гигиены, архитектуры, кибернетики, электроники, психологии, социологии и др. Проектированию предшествует разработка модели нового учебного процесса с использованием новых учебных программ, экспериментальных форм, новых методов и технических средств обучения, определяются задачи функционирования школы в комплексе с другими учреждениями.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ литературы показывает, что сегодня в мире и отечественном опыте широко развивается концепция школ-комплексов [7]. Надо отметить, что в последнее время получила признание идея организации начальных школ (в составе первых трех классов), объединенных с детскими яслями-садами. Это и школа-комплекс в Ле Бурже (Франция), школьный комплекс в районе им. Клода Бернара, Париж (Франция), школа в Мистельбахе (Австрия), школа-комплекс в Торонто (Канада) и тд.

Разработка педагогической концепции «Парк открытых студий» М. Балабаном (Россия) привела к потребности в новой структуре здания и появлению новой модели школ – «Парк-школа» [6]. Данным направлением с 2003 года занимается Середкина Е.В. [6] Новые принципы образовательной системы Середкина Е.В. интерпретировала в архитектурные:

1. равенство ученика и учителя - отсутствие четкого зонирования учебного пространства на зону учителя и класс
2. разновозрастные объединения детей - отсутствие типовой мебели; элементы игры в архитектурном пространстве; наличие развитой коммуникационно-рекреационной системы
3. свобода выбора студий учащимися - открытые пространства, атриумы, рекреации; возможность свободного расположения мебели в интерьере; компактное размещение студий (сокращение коммуникационных связей между учебными пространствами) переменное количество учащихся в студии - трансформация пространств; использование мобильных перегородок; возможность использования пространства рекреаций в качестве учебной зоны

#### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

Цель: изучение современных требований и принципов к объемно-планировочной организации школьного здания на примере зарубежного и отечественного опыта в строительстве.

Задачи:

1. изучение факторов, влияющих на объемно-планировочную организацию школьного здания
2. изучение современного зарубежного и отечественного опыта строительства школ
3. выявление современных требований к проектированию школ.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

С середины XX века в мире строились школы преимущественно коридорной системы, где к классным помещениям примыкал широкий коридор-рекреация. При такой планировке в учебной секции размещалось около 40% учебной площади, а остальные 60% площади были заняты коридорами, обслуживающими помещениями. Классные помещения представляли собой замкнутые единицы, преподаватели и дети затрачивали много времени на длинный путь к гардеробам, умывальникам, общешкольным помещениям и столовой. Большинство помещений было одинаковых размеров, с однообразным оборудованием и что не удовлетворяет современным педагогическим требованиям. В настоящее время предлагается создание школ, предназначенных для так называемого «непринужденного» обучения, которые должны иметь гибкую планировку помещений и такое оборудование, которое создает обстановку, приближающуюся к домашним условиям обучения. Школа состоит из общей универсальной учебной зоны, помещений «интимного» характера и специализированной рабочей зоны с соответствующим оборудованием. Планировка здания запроектирована так, чтобы дети большую часть времени работали небольшими группами или индивидуально, а преподаватель мог переходить от одной группы к другой и давать советы. Общая площадь учебных помещений состоит из ряда небольших специализированных рабочих зон. В зонах «интимного» характера находятся опорные пункты групп, рассчитанных на 30—40 учеников различного возраста (5-9 лет).

Школа Орестад в Дании – это экспериментальный проект - школа, построенная вокруг сети, в этой школе осуществляется мобильное обучение. Снаружи школа больше напоминает концертный зал - это высокое пятиэтажное здание, окон в котором так много, что стены кажутся прозрачными. В ней нет ни классов, ни коридоров. Все пространство внутри школы представляет собой огромный холл, от первого до пятого этажа поднимаются винтовые лестницы. В данной школе воплотили в жизнь концепцию, что лестница - это пространство социальное. На лестницах здесь встречаются, разговаривают и даже проводят уроки. Для проведения урока подвижной перегородкой отделяется пространство, а все необходимые материалы для урока у учителя есть в

сети. В школе выделены "зоны X" - это такие круглые открытые комнаты, в которых лежат разноцветные надувные матрасы, на которых проходит подготовка к урокам.

В школе Орестад пространство организуется для объединения учителя и ученика (рис.1).



**Рис.1. Школа Орестад в Дании (компания 3XN Arkitekter, 2009г.)**

Сегодня в Англии в проектировании школ применяется принцип свободной планировки, но при этом сохраняется четкое зонирование здания. Широко используются атриумы для организации рекреации и вертикальной связи. Этажи - террасы условно разделяются на учебные зоны - «зоны интимного характера», с помощью мебели.

В настоящее время широкое распространение получают школы-комплексы, которые состоят из учебно-воспитательных учреждений различных ступеней обучения и расположенных на одном участке. Такие комплексы, как правило, состоят из нескольких зданий, соответствующих возрастной дифференциации учебных корпусов: детский сад, начальная школа, средняя школа и высшая школа.

Интересным примером современной школы во Франции является проект школьного центра имени Люси Обрак (архитектор Дитмар Файхтингер). При решении участка школы, выполнено четкое зонирование территории: W-образная компоновка двухэтажных корпусов образует два внутренних двора: квадратный двор детского сада и чуть более крупный трапециевидный двор начальной школы. Планировочная схема коридорного типа позволяет организовать внутреннее пространство таким образом, чтобы учебные классы выходили окнами во двор. Такая ориентация ограждает учащихся от городского шума, а обильное остекление наполняет интерьеры солнечным светом. Здание комплекса разделено на функциональные зоны: учебная зона, спортивная зона, клубная, интерактивная, библиотека, столовая и администрации. При этом учебная зона разделена по возрасту. Корпус детского сада вмещает пять классов, начальной школы - девять, три из них имеют выход на террасу. Помимо учебных помещений, в здании имеются музыкальный и спортивный залы, компьютерный кабинет, библиотека, столовая и офисы администрации (рис.2).



**Рис.2. Школьный центр имени Люси Обрак, Париж (архитектор Дитмар Файхтингер)**

Для малышей и для детей постарше устроены отдельные входы в здание со двора, а центральный вход в школу расположен в северной части комплекса, под консольным выносом библиотеки. Дворовые и прилегающие территории благоустроены: предусмотрены тротуары, озеленение, открытые игровые площадки, стоянки для велосипедов.

Одним из принципов современных школ является принцип «зеленых школ» - это объединение учебных зон с природой. Во Франции предлагается школа, которая будет представлять из себя многоуровневую полукрытую конструкцию. Вместо стандартных закрытых классов будут сделаны зоны, сочетающие в себе крытые помещения с открытыми пространствами, на которых будут расти разнообразные растения. Весь учебный процесс планируется выстроить в виде игры (рис.3).



**Рис.3. Школа в городе Булонь, архитектурное бюро Chartier-Dalix architects, Франция**

В Дании при проектировании современных школ наблюдаются те же тенденции: сочетание открытых и закрытых пространств, приближение детей к природе с помощью озеленения кровли, которую используют в виде учебного материала для занятий. Одноэтажное здание школы имеет четкое зонирование. Учебные классы с помощью коридоров соединяются с музыкальной, спортивной, административной зонами и администрацией. Чтобы сократить внутренние связи между зонами авторы предлагают объединять функции помещений: транзитную зону объединить со столовой, рекреацией, библиотекой-медиаотекой.

Элементы теории «зеленых-школ» наблюдаются во всех современных проектах школ, но наиболее выделяется проект школы на юге острова Бали. В этой школе нет квадратных стен, стандартных парт, классы освещаются природным образом, нет асфальта, вместо него дорожки с гравием, все изгороди в окрестностях живые. Электричество школа получает от экологически-чистых источников энергии: установлены гидрогенераторы и солнечные панели. В строительстве использовался только бамбук, слоновья трава и глина (лишь только кое-где в фундаменте использовался цемент).

Все современные школы направлены на использование альтернативных источников энергии, использование экологически чистых строительных материалов. Ярким примером, такого подхода, можно назвать проект начальной школы университета Тэйкё в Токио (Япония, архитектор Кенго Кума.), с эффектной деревянной кровлей. Постройка переменной этажности (от 1 до 3 этажей) вместила в себя стандартный набор помещений: образовательные классы, рекреации, спортивные и актовые залы, столовая и мастерские. В плане школа представляет собой вытянутый прямоугольник, причем первый этаж существенно шире двух верхних, благодаря чему у каждого помещения второго этажа появилась обширная терраса. Вместо традиционной коридорной системы архитектор предложил планировку, при которой классные комнаты расположены как вдоль двух внешних стен здания, так и в средней части коридора. И если средние кабинеты фактически проходные, то основные помещения можно как изолировать с помощью

прозрачных перегородок, так и сделать частью общего пространства. А для того, чтобы со стороны здание не выглядело как монотонный длинный объем, архитектор дробит его двускатную кровлю на 12 отдельных сегментов разной длины, выделяя различные функциональные зоны и придавая постройке динамичный силуэт. Сложносочиненная крыша также помогает создать в школе наиболее комфортный микроклимат: ее удлиненные скаты обращены на юг, защищая здание от перегрева. Школа полностью выполнена из дерева – по замыслу архитектора, этот материал поможет ученикам почувствовать себя ближе к природе. Для облицовки внешних стен и кровли Кума выбрал кедр, а интерьеры школы отделаны панелями из переработанной соломы, тростника и древесины тополя: этот материал не только обладает прекрасными звукоизоляционными свойствами.

### **Выводы**

На основе проведенных исследований можно сформулировать основные принципы формирования объемно-планировочной структуры школьного здания:

- возможность использования зданий населением жилого района - стремление организации взаимосвязи школ и окружающих их различных общественных учреждений в целях усиления функциональной связи с жилой застройкой и расширения учебно-воспитательной базы, создание условий для внешкольной работы учащихся;

- пересмотр системы функционального зонирования, состава и площадей помещений школ (появляются новые специализированные группы, помещения технических центров, библиотек-медиатек, обеспечивается групповое членение помещений, создаются оснащенные аудиовизуальной техникой кабины для индивидуальных занятий и т.п.);

- повышение уровня технической оснащенности в совокупности с новыми инженерно-техническими возможностями строительства, (регулируемое верхнее естественное и искусственное освещение, искусственный климат, кондиционирование и аэро-ионизация воздуха, использование альтернативных источников энергии, эффективные акустические материалы, механическая трансформация, эффективная мобильная мебель и аудиовизуальные средства и т.д.);

- гибкая организация учебного процесса, которая predeterminedелила переход от традиционной "корпусной" системы объемно-планировочного решения с их жесткой ориентацией по странам света, протяженными инженерными коммуникациями, неэкономичными изрезанными конфигурациями планов к компактным композициям со свободной вариабельной планировкой, широкой трансформацией помещений применительно к постоянно изменяющимся требованиям учебного процесса;

- совершенствование интерьеров, призванных решать не только задачи искусственного климата и художественной отделки, но и психологические, гигиенические, учебно-воспитательные и информационные задачи;

- применение большепролетных конструктивных решений с сеткой опор 12-25 м, обеспечивающих свободную гибкую планировку.

### **Список источников**

1. Тосунова М.И. Архитектурное проектирование: Учебник / М.И. Тосунова. - М. : Высш. шк., 1968. - 368 с. : ил. 211, табл. 25. - Библиогр.: с. 359-360 (20 назв.)
2. Верстин Г. И. Опыт проектирования и строительства каркасно-панельных школьных зданий : к изучению дисциплины / Г. И. Верстин, В. В. Пухов. - М. : Стройиздат, 1970. - 159 с. : ил., планы. - Библиогр.: с.158
3. Ковальский Л.Н. Архитектура учебно-воспитательных зданий. -К.: Будівельник, 1988. -144 с.
4. Школы и школы-интернаты : к изучению дисциплины / А. К. Чалдымов, В. И. Степанов, Г. Д. Леладзе ; Государственный комитет по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР, Центральный научно-исследовательский и проектный институт типового и экспериментального проектирования школ,

- дошкольных учреждений, средних и высших учебных заведений. - М. : Стройиздат, 1964. - 131 с. : ил. - Библиогр.: с. 129-130
5. Липявкин А.Ф. Архитектура городских зданий и сооружений: Учеб. пособие для строит. вузов / А.Ф. Липявкин, И.П. Савченко. - М.: Высш. шк., 1970. - 448 с.: ил. - Библиогр.: с. 447 (19 назв.)
  6. Ковальская Г.Л. Учебные заведения в сформированной застройке малых городов // Опыт и перспективы развития городов Украины. Проблемы развития малых городов Украины: сб. науч. Трудов. К.: ДІПРОМІСТО, 2008. - №15. – С. 167 – 173.
  7. Ковальська Г.Л. Архітектурне проектування навчальних закладів / Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2010. – 152 с.
  8. <http://www.archdaily.com>
  9. <http://www.archfacade.ru>
  10. <http://www.stalbansschool.org>
  11. <http://architecton.ru/>
  12. <http://edenhome.ru>
  13. <http://architypesource.com>
  14. <http://www.archinnovations.com>

**УДК 712.1:378**

## **РАЗВИТИЕ ЛАНДШАФТНОГО УРБАНИЗМА КАК ДИСЦИПЛИНЫ**

**Нагаева З.С. Сейтумерова С.С.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

Необходимость создания благоприятной и комфортной городской среды является одной из актуальных проблем градостроительства. Новым подходом в проектировании городских пространств является Ландшафтный урбанизм, где ландшафт заменяет архитектуру, как основной строительный элемент. В статье рассмотрены предпосылки становления и развития новой дисциплины, раскрыта архитектурная концепция ландшафта, дано определение ландшафтного урбанизма и его философии.

**Урбанизм, ландшафт, топография, городская среда, ландшафтный урбанизм**

### **ВВЕДЕНИЕ**

С ростом городов, развитием промышленности становится все более сложной проблема охраны окружающей среды, создания благоприятных условий для жизнедеятельности человека. В последние десятилетия усилилось отрицательное влияние человека на окружающую среду, и в частности, на зелёные насаждения урбоэкосистем. Таким образом, проблема деградации зелёных массивов (городских парков, лесов, садов) - одна из важнейших экологических проблем в городских агломерациях. Городские насаждения выполняют многообразные функции, среди которых, в условиях современного города, средозащитные и средообразующие. К сожалению, этот тезис, широко декларируемый в литературе по озеленению городов, практически не нашёл реального воплощения в практике ведения городского зелёного хозяйства.

Разработка методик регулирования использования природных ландшафтов актуальна для всех стран. В связи с тем, что в процессе использования территорий наступают необратимые изменения природных ландшафтов, важно на всех этапах технического прогресса иметь обоснованные методы их архитектурно-пространственной организации. Ландшафтный урбанизм является новым подходом в проектировании и планировании открытых пространств, где ландшафт структурирует городскую среду соответствующим функциональным зонированием.

Городская среда подвергается процессу глобализации и проектируемые объекты, как правило, не соответствуют характеру местности и параметрам комфортности. Поэтому одной из важнейших задач в архитектуре и градостроительстве, на сегодняшний день, является повышение качества городской среды различными средствами.

Одним из таких средств может выступить ландшафтный урбанизм, создающий экоустойчивое, динамичное, нелинейное пространство, где формируется своеобразная городская среда, имеющая собственную организацию.

Новизна исследования заключается в том, что метод ландшафтного урбанизма на современном этапе изучен недостаточно. Использование ландшафтного урбанизма, как метода, дает новый подход к решению экологических, эстетических и социальных проблем современного города.

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Среди специалистов, работающих в области ландшафтной архитектуры и оздоровления городского пространства, можно выделить работы Н.П. Абесиновой, А.В. Базилевича, А.Р. Григоряна, И.А. Десятова, А.В. Сычевой, А.В. Попова, Ю.А. Бондаря.

Архитектурные концепции, определяющие архитектурно-композиционную роль ландшафта, можно объединить в четыре основные группы:

- ландшафт как морфологическая основа архитектурной композиции (Ю.И. Курбатов, Р. Пиетиль, Г.Б. Бархин, В.Л. Антонов, А. Гутнов);
- ландшафт как образформирующая система (Г.П. Гольц, К. Линч)
- ландшафт как текст и информация (Ю.И. Курбатов, К. Линч)
- ландшафт как источник символов (ДЖ.О. Сайсмонд, А.В. Иконников)

Отечественные специалисты работают в области ландшафтной архитектуры, в то время, как научные труды зарубежных авторов (Джеймса Корнера, Кристофера Грея, Бернарда Чуми и др.) дают представление о новой дисциплине. Анализ научных источников позволяет определить, что недостаточно исследованными являются вопросы применения ландшафтного урбанизма в структуре города и формирования общественного пространства. Нуждается в уточнении само понятие «ландшафтный урбанизм» и сфера его применения.

Слабо изучены вопросы применения, а также объемно-пространственной организации и архитектурно-планировочного решения общественных пространств города. Действующие нормы и нормативно-методические документы не отображают специфику их формирования.

#### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

Целью статьи является изучение становления и развития ландшафтного урбанизма, как дисциплины. Исходя из этого, поставлены такие задачи:

- исследовать предпосылки возникновения новой дисциплины;
- дать определение понятию урбанизм;
- раскрыть современную концепцию ландшафта;
- сформулировать рабочее определение ландшафтного урбанизма.

#### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ .**

Методика исследования включает сбор и анализ литературных, научных и проектных источников по теме.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

Дисциплина "Ландшафтный урбанизм" взята из многих теорий и развивается параллельно с соответствующими смежными областями, определение этого подхода опирается на широкий спектр современных и исторических учений.

Джеймс Корнер был первым, кто применил понятия «ландшафт» и «урбанизм» в серии конференций в середине 1990-х годов, которые касались конкретно «построения ландшафта» и «восстановления ландшафта». Конференции направлены на изучение современной ландшафтной архитектуры с целью преобразования дисциплины на

качественно новый уровень. Идеи и работы этих конференций позднее были собраны в публикации «Восстановление ландшафта». Это ключевые материалы для дисциплинарного курса ландшафтной архитектуры в Пенсильванском университете.[6] [1]

Выпускник Пенсильванского университета Чарльз Вальдхайм впоследствии ввел термин «ландшафтный урбанизм» и организовал конференцию под тем же неологизмом в 1997 году. Данная конференция и предыдущие конференции Корнера, состоявшиеся в Архитектурной Ассоциации (АА), позже легли в основу создания дисциплинарного курса и в Великобритании, под руководством Мохсен Мостафаи, который начал принимать студентов в данном направлении в 1999 году в Гарвардский университет. Примерно в то же время Вальдхайм организовал курс в Школе Архитектуры в Университете Иллинойса (Чикаго).

В настоящее время существует много презентаций и публикаций на эту тему. В 2010 году, Мостафаи встал у руля Школы дизайна (GSD) Гарвардского университета, он публикует и редактирует подборки работ, а так же совместно с Гаретом Дуэрти выпустил книгу «Экологический урбанизм», где рассуждает об «этике и эстетике современного города».

### **ПУБЛИКАЦИИ И КОНКУРСЫ**

Корнер, Вальдхайм и Архитектурная Ассоциация (А.А.) постоянно выпускают новые публикации, которые по названию и содержанию показывают несколько догматическое отношение к области. Книги «Руководство для механического ландшафта», «Ландшафтный урбанизм», а также ряд предшествующих публикаций и конкурсов, связанных с этой тематикой выступили катализаторами для появления новой дисциплины. Эти международные «соревнования», и их широкая огласка в текстах известных архитекторов послужили первыми шагами к формированию нового направления.

В 1982 году состоялся международный конкурс для парка Ля Виллет в Париже. Первое место получил Бернард Чуми и Рем Колхас. На протяжении двадцати лет проект является основополагающим, с помощью проекта организованы городские программы, как ландшафтный процесс. В проекте ландшафт принят как среда для обоснования и упорядочивания указанных программ, которые были несовершенны, при этом он сигнализирует о начале переоценки современного урбанизма, что продолжается и сегодня.

Переоценка современного урбанизма повлекла за собой направление между урбанизмом и ландшафтом, в котором архитекторам была предложена противоречивая область ландшафтной архитектуры, отличающаяся размытыми границами, где обе дисциплины сотрудничают в зоне общего пространства, а также по-новому принимаются и адаптируются методы для изучения программных, пространственных и временных проблем современной городской ситуации. Расширено использование экологических и инфраструктурных подходов, и за его пределами, множества методов проектирования изменяемых структур, которые могут приспособливаться к изменениям и неопределенным процессам.

Еще одним представителем ландшафта, как средства и метода работы, можно считать Стенфорда Квинтера. Хотя его работы не были изначально направлены на архитектуру и ландшафт, Квинтер, несомненно, оказал значительное влияние на язык и сферы ландшафтного урбанизма. Иногда сотрудничая с Ремом Колхасом, Квинтер в публикуемой литературе позиционирует то, что необходимо однозначно «распутать» сложные изменения, которые возникли по нескольким дисциплинам с переходом от линейной картезианской парадигмы к сложной нелинейной теории первых работ непрерывной пространственной постоянности. Квинтер анализирует картины Умберто Боччони, чтобы проиллюстрировать результаты многочисленных изменений в движении к нелинейным изменениям [4].

Ландшафт в работах вводится, как концептуальная «волнистая топографическая поверхность в фазовом пространстве», используемый для описания развития событий, которыми Квинтер обеспокоен. Хотя язык и термины в его работах появляются в ключевых текстах ландшафтного урбанизма пятнадцать лет спустя, он рассматривал еще несколько вариаций - мягкий урбанизм (*soft urbanism*) и кратность размеров. Квинтер осознал возможность ландшафта в качестве способа мышления и в дальнейшем разработал свою собственную концепцию ландшафта - *soft urbanism*. Он характеризует эту концепцию, как «плавный урбанизм пастбищных, постоянно взаимодействующих сил, урбанизм, где силы могут взаимодействовать, ландшафт является динамичным, гибким, специально основанным на правилах урбанизма, свободным от контроля, одержимости, предсказуемости, постоянства» [2].

Довольно трудно найти в этой краткой истории положение Ассоциации Архитекторов (А.А.) и их подход к области. Начиная с общей терминологии, с учетом ландшафта, силы и процесса, опубликованных программ, появляются вполне конкретные архитектурные формы, в отличие от более широкого определения изменяемых структур. Трудность данного вида ландшафтного урбанизма заключается в сходстве подходов, в конечном счете, к данной области, диаграммам и топографии зданий в ландшафте. Барт Лоотсман описал подход, как биоразведку, в возвращении к экологии[5].

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛАНДШАФТНОГО УРБАНИЗМА**

В настоящее время Ландшафтный урбанизм — в основе дисциплинарной перестройки, в которой ландшафт заменяет архитектуру, как основной строительный блок современного урбанизма. По целому ряду дисциплин, ландшафт становится «линзой», через которую воспринимается современный город, и среда, в которой он построен.

Методология Ландшафтного урбанизма является междисциплинарной по определению, и объединяет знания и методы таких дисциплин, как инженерная экология, городская стратегия, ландшафтная экология и др. [2].

Ландшафтный урбанизм состоит из многих дисциплин и развивается параллельно с соответствующими областями, определение данного подхода опирается на широкий спектр современных и исторических теорий [5].

Ландшафтный урбанизм является одним из наиболее явных проявлений, сохраняющих критический сдвиг рассмотрения открытых пространств и природных систем через встроенное преобразование формы и инфраструктуры.

На самом базовом уровне, ландшафтный урбанизм, объединяя данные термины, может предложить стратегический подход к формированию городских схем через преобразование процессов, связанных с ландшафтом.

Ландшафтный урбанизм включает в себя рассмотрение таких вопросов как: система водоснабжения, планирование экологических аспектов и зеленых коридоров, биоразнообразие, рассмотрение ориентации и введение городского многоцелевого использования инфраструктурных коридоров.

Однако, такие определения игнорируют некоторые тонкие вопросы, которые возникли в последние десять лет, поэтому область вышла за пределы начального рассмотрения, чтобы стать признанным подходом, преподаваться в ряде институтах и практиковаться в различных формах по всему миру.

#### **«УРБАНИЗМ»**

Урбанизм (франц. *urbanisme*, от лат. *urbanus* — городской, *urbs* — город) - направление в градостроительстве 20 в., представители которого утверждали идею о главенствующей и безусловно позитивной роли городов в современной цивилизации, и в связи с этим, уделяли основное внимание проектной разработке максимально укрупненных градостроительных структур, рассчитанных на значительную концентрацию населения. основополагающее значение для становления теории Урбанизма, особенно интенсивно развивавшейся в 1920-е гг., имела деятельность Ле Корбюзье. В 1920-е гг.

идеи Урбанизма оказали значительное влияние и на некоторых советских зодчих (Н.А. Ладовского и др.). Нередко понятие Урбанизм используется и как синоним градостроительства в целом [3].

#### «ЛАНДШАФТ – СЛОЖНОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ»

Ландшафт представляет собой участок земли, который глаз может видеть одновременно. Голландское слово «landscape» - означает: land -земля (участок, район) и суффикс —schap соответствует английскому слову «корабль». Термин впервые появился на английском языке для того, чтобы описать видимые территории. Однако понятие английского ландшафта можно найти и в немецких и английских терминах, идентифицирующих участок земли известных размеров. Это говорит о том, что определение не имеет строго научного значения, но влияние человека (даже если это просто акт просмотра) является ключевым фактором. «Все ландшафты построены... они явление природы и продукт культуры». Как видно из определений и этимологии, ландшафт в жизни общества играет очень значительную историческую, представительскую и живописную роль. Географ Денис Костроув отметил: «ландшафт не просто мир, который мы видим, это строительство, состав этого мира», и цель состоит в том, чтобы позволить использовать термин более свободно и охватывать «новые изображения и концептуализации»[4].

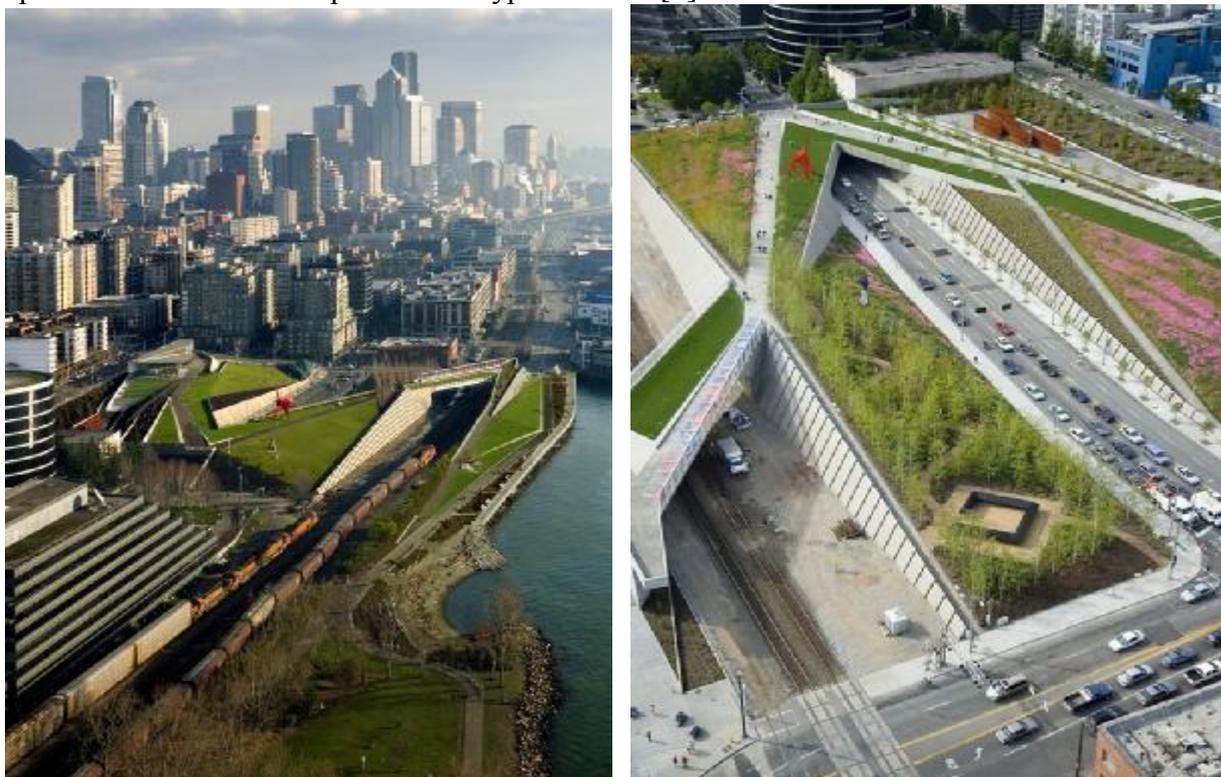
Однако, даже с учетом таких «новых образов, определений», которые опираются на конкретные изображения, имеются противоречия с ландшафтным градостроительством. Корнер и Квинтер предложили условия, которые могли бы более легко разместить в контексте восстановления ландшафта. Корнер обращается к немецкому «landscape» и «territory» из сочинений Дж.Б.Джексона и Джона Стилгоу с тем, что ландшафт будет включать в себя глубокое и близкое отношение не только между зданием и полем, но и с помощью моделей занятий, деятельности и пространства. Такое определение дает немедленное признание влияния человека на землю, а тем более важное и современное движение от объекта к активной области. Русский подход к различиям использования термина решен двумя словами: пейзаж относится к живописной, поэтической и эмоциональной ассоциации, в то время, как ландшафт используется в его техническом и объектном виде, что решает ряд нескольких проблем связанных с использованием это термина в англоязычных странах.

В рамках конференций и книг, смысл и значение ландшафта были преобразованы из декораций, только естественной, нефункциональной зелени в функциональную, активную, инфраструктурную и контекстную область. Ландшафт, который ранее означал свободное пространство вокруг здания и оставшиеся зеленые насаждения в городской среде, стал рассматриваться, как оперативная, неразделимая и взаимосвязанная часть архитектурного и городского контекста.

О "новых архитектурных концепциях ландшафта" Джеймс Корнер говорит: «Значение ландшафтного контекста для архитектурного и экологического искусства заключается не только в глубоко чувственных и экспериментальных измерениях земли, но и в его семиотическом, экологическом и политическом содержании. Таким образом, в эссе «Природа напомнила» Марк Трейб утверждает, что ландшафт больше не может рассматриваться исключительно в качестве «украшения» у основания здания, он постепенно приобретает более глубокий смысл при контекстуализации, повышении опыта, затрат времени и природы в построенный мир. Все шире признается, что ландшафт содержит в себе глубокие экологические и экзистенциальные перспективы для архитектуры и градостроительства, провоцируя новые формы опыта, смысла и значения» [6] (рис. 1).

Таким образом, Корнер подчеркивает архитектурную концепцию ландшафта, которая дает ему более оперативную и структурную характеристику, а не обозначает пассивный сценический образ. (рис.1) Изменение значения ландшафта открывает новые пути интерпретации антропогенной среды, влияя на архитектуру и градостроительство.

Новое понимание ландшафта рождает новую дисциплину «Ландшафтный урбанизм». Чарльз Вальдхайм говорит, что: «Ландшафтный урбанизм описывает дисциплинарную перестройку, в которой ландшафт заменяет архитектуру в качестве основного строительного блока современного урбанизма» [5].



**Рис. 1. Olympic Sculpture Park, Сиэтл, США**

Вальдхайм предлагает ландшафт вместо архитектуры, как простой элемент урбанизма. Ландшафтный урбанизм направлен на развитие междисциплинарного подхода, нарушая жесткие дисциплинарные границы между архитектурой и градостроительством путем включения ландшафта. Кристофер Хей, в своем эссе "Изображая Городской пейзаж: Ландшафт в архитектурной критике и теории, 1960-е - по настоящее время», утверждает, что "под новым интересом к ландшафту лежит утверждение, что неявное приведение методов проектирования, градостроительства и архитектуры в контакт с ландшафтом, омолодит все три, т.к. традиционные дисциплины архитектуры и градостроительства считаются неспособными для привлечения в современной архитектурной среде"[5]. Другими словами, новая концепция направлена на дисциплинарное взаимодействие, которое будет разрабатывать новые стратегии во встроенной окружающей среде. Как отметил Джеймс Корнер, "ландшафтный урбанизм предлагает более перспективную, более радикальную, более творческую практическую форму, чем определяет жесткая дисциплинарная классификация» [6].

Посредством ландшафта будет усилена связь между городской средой и архитектурным проектированием. Теория ландшафтного урбанизма предлагает взаимосвязанные дисциплины ландшафтного дизайна и градостроительства (рис. 2).

Ландшафтный урбанизм базируется на вполне научных и рациональных ресурсах (такие как экология, инфраструктура и т.д.) в своей практике, но не является строго научной дисциплиной. Трудность отражена в обоих словах объединенного термина, который, несмотря на некоторые следы научной объективности, на самом деле очень субъективен в условиях, отражающих изменение и текучесть понятий в отношении взаимодействия человека с окружающей его средой (рис. 3).



**Рис. 2. Пример общественных пространств**

### **ОБЪЕДИНЕНИЕ ТЕРМИНОВ**

Возникает необходимость формулирования рабочего определения:

Ландшафтный урбанизм является новым подходом в проектировании и планировании открытых пространств, где ландшафт структурирует среду по таким критериям как иерархия, выявления основного ядра, границы.



**Рис. 3. Flowing Gardens. Plasmastudio**

Ландшафтный урбанизм рассматривает переход от вертикальных осей к горизонтальным областям, используя биоморфную разведку, поиск структуры, после чего вписывает объекты в изученную среду с учетом проделанного анализа, при этом формы имеют больше общего с ландшафтной архитектурой и топографией, нежели с обычными фасадами и планами этажей [2].

### **Выводы**

1. Ландшафтный урбанизм - это новый подход в формировании, проектировании и планировании городских пространств, реорганизации и реконструкции деградирующих

территорий путем структурирования и многоцелевого использования данных территорий, отхода от вертикальной застройки и внедрения архитектурных форм в горизонтальные области городского ландшафта. Использование новых технологий и биотехнологий, прогнозирования и моделирования способствует дальнейшему развитию объектов ландшафтного урбанизма.

2. Ландшафтный урбанизм олицетворяет ряд концепций, имеющих большую гибкость и «экологическую чувствительность», что в настоящее время должно включать в себя проектирование и планирование.

3. Архитектура ландшафтного урбанизма разделяет аналитические и теоретические идеи отдыха и сферы деятельности, выступает в поддержку анализа современного города, в установлении нечетких процессов и потоков единым языком.

4. Принципы и методы ландшафтного урбанизма позволяют решать экологические, эстетические и социальные проблемы современных городов, в том числе и городов Крыма. Планировочные приемы, используемые ландшафтным урбанизмом, позволяют создавать комфортную и сомасштабную человеку городскую среду.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Prix W.D. On the edge., in: New position and deconstruction, Minchins.181.
2. Дмитренко К. Введение в теорию и практику ландшафтного урбанизма / Дмитриенко / А.С.С - ватерпас. Ландшафтный урбанизм. Спортивные мегасобытия. - 2008. - №1. - с.40-45.
3. Линч К. Образ города. / К. Линч. - М.: "Стройиздат", 1982. - 328 с.
4. V. Haaren, C. Landscape Planning facing the Challenge of the Development of cultural Landscapes // Landscape and Urban Planning 60. - 2002. - P. 73- 80.
5. Christopher D. Gray. From emergence to divergence: modes of landscape urbanism. School of Architecture Edinburgh College of Art 2005 — 06.
6. Corner J., Terra Fluxus, in The Landscape Urbanism Reader, New York: Princeton Architectural Press, 2005, p. 23.

**УДК 711.424:7203**

### **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ ЖИЛОЙ СРЕДЫ**

**Нагаева З.С. Межмидинов А.А.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

В статье проводится анализ современной архитектурной теории и практики по выявлению актуальных тенденций в организации жилой среды. Характеризуются ключевые принципы основных направлений. Устанавливается связь и преемственность современных идей с более ранними подходами.

**Жилая среда, адаптивность, саморазвитие, органичность, идентичность, многофункциональность, интенсивность, комплексность, прозрачность, открытость, полицентричность, дискретность**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

За последние два столетия в мировой архитектуре, градостроительстве и вопросах формирования жилой среды в частности, возникали, сосуществовали, считались основополагающими, а главное, применялись на практике различные концепции. Эти парадигмы часто кардинально отличались друг от друга, предлагались как альтернатива или дополнение к прежним.

Так поиски решения проблемы гиперурбанизации к началу XX века привели к двум основным моделям города индустриальной эпохи: модель свехурбанизированного центра и дезурбанизированного пригорода, широко отраженная в американских городах и модель

функционального зонирования территории города с выделением селитебной территории, нашедшая широкое применение в городах послевоенной Европы и СССР.

Однако уже во второй половине XX века архитекторы и широкая общественность все чаще поднимают вопрос о гуманизации жилой среды, проявлении индивидуальности и архитектурного многообразия жилья. Как следствие, - постмодернистские модели малоэтажных полицентричных городов, не нашедшие, однако, широкого применения.

Анализ современных тенденций в формировании жилой среды позволит оценить динамику смены архитектурных парадигм и отметить дальнейшие возможные направления в данной области.

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

При выполнении научно-исследовательской работы был использован ряд источников, среди которых:

Фремптон К. «Современная архитектура: Критический взгляд на историю развития»

Ганина Т.С. «Урбо-матрикс. Биосоциальная ткань города». Архитектон: известия вузов № 30 - Приложение Июль 2010. В статье автор развивает идею восприятия города аналогично живому организму

Гренькова Е.Е. «Городской цитоскелет. Концепция организации природно-социальной структуры городского пространства» Архитектон: известия вузов № 38 - Приложение Июль 2012. Автор рассматривает вопросы повышения социальной и культурной позитивности городской среды.

Бокова А. Формируя городскую ткань: будущее жилой единицы. Проект Россия № 52. Кварталы / blocks. Москва. Февраль 2009 г.

#### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

Целью исследования является формирование теоретической базы для создание модели функциональной интенсификации, гуманизации и повышения качества жилой среды.

Задачи исследования:

- провести анализ современных тенденций в формировании жилой среды
- выявить основополагающие идеи современной архитектуры и их связь с более ранними подходами.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

На основе анализа теоретической базы и проектной практики последних десятилетий, в современной архитектуре и в области формирования жилой среды в частности, можно выделить несколько основных направлений.

Ключевой идеей первого направления является восприятие города и жилой среды в качестве динамической, постоянно меняющейся и развивающейся системы наподобие живого организма. Отсюда и основные принципы концепции. Жилые образования чаще всего формируются приемом тиражирования заданной жилой ячейки в пространстве (рис. 1).



**Рис. 1. Жилой комплекс «Mountain dwellings» BIG**

В рамках модульного конструктора возможно создание формы – собственно жилых ячеек и антиформы – частных и полуприватных пространств. Подобная структура сохраняет способность к разрастанию и саморазвитию (рис. 2).

Благодаря своей дробности, ярко выраженной модульности и двойственному масштабу ячейки и всей структуры, такие образования адаптивны к существующей среде и инвариантны в посадке на местность.



**Рис. 2. Жилой комплекс «Sky village» MVRDV**

Особым качеством является идентичность отдельных жилых ячеек во всем комплексе, а также возможность привлечения обитателей к формированию среды в рамках заданного архитектором сценария (рис. 3).



**Рис. 3. Жилой комплекс «Quinta Monroy» Alejandro Aravena**  
Слева – на момент сдачи, справа – после обживания

Основные принципы первого направления:

- адаптивность
- саморазвитие
- органичность
- идентичность

Истоки направления – в зародившейся в середине 1960-х гг. в Японии концепции метаболизма (рис. 4). Главные идеологи метаболизма: Кензо Танге, Кисе Куракава.[1]



**Рис. 4. Жилой комплекс «Хабитат» К.Танге, К.Куракава**

**Второе направление** связано с формированием многофункциональной среды. Его следует рассматривать в двух ракурсах: организация жилых зданий с выделенной многофункциональной частью и создание жилых образований с комплексом услуг, рассредоточенным в среде (рис. 5). Основная идея концепции – функциональная интенсификация жилой среды, сокращение расстояний от жилья до мест приложения труда, отдыха и т.д. Как следствие – круглосуточная оживленность среды.



**Рис. 5. Жилой комплекс «Nine Dragon» YKH LAB (слева)  
Жилой комплекс «The Great Wall» YKH LAB (справа)**

Истоки направления восходят к некоторым из идей концепции нового урбанизма, зародившегося в 1960-е гг. в Америке.

Основные принципы:

- многофункциональность
- интенсивность
- комплексность



**Третье направление** заключается в создании прозрачной квартальной застройки с чередованием жилых зданий и открытых жилых пространств. Такая дискретная структура жилых образований позволяет сохранить масштабность среды человеку, а также адаптивно включать их в контекст существующей среды [1]. Подразумевается насыщенность среды дифференцированными открытыми пространствами частного, полупри частного и общеквартирного характера (рис. 6).



**Рис. 6.** «Madrid housing» Morphosis (сверху)  
«Seijo Town Houses» SANAA (справа)

Истоки направления – в концепции открытого квартала, развивавшейся в 1970-х – 1980-х гг. французским архитектором Кристианом де Портзампарком

Основные принципы:

- прозрачность
- открытость
- дробность
- полицентричность
- дискретность

#### **Выводы**

Основные современные практические тенденции в формировании жилой среды включают несколько глобальных концепций современной архитектуры:

**Метаболизм** (организация сценария для саморазвивающейся системы)

**Новый урбанизм** (вектор на пешеходную и велосипедную доступность, устойчивое развитие, многофункциональность и высокую плотность среды)

**Открытый квартал** (прозрачная застройка, обилие камерных открытых пространств)

**Феноменологическая парадигма** (создание «духа места», «духа времени», рассмотрение пространства с точки зрения сознания обитателя, учет психологических основ восприятия человека, организация идентичной эмоциональной среды).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фремpton К. Современная архитектура: Критический взгляд на историю развития» - М., 1990 г. – 535 с.
2. Бокова А. Формируя городскую ткань: будущее жилой единицы. Проект Россия № 52. Кварталы / blocks. Москва. Февраль 2009 г. – 12 с.
3. Бокова. А. Проект Россия № 55. Жилье / housing. Новое жилье: глобальные тенденции и российский контекст. 1/2010 г. – 9 с.
4. Ганина Т.С. «Урбо-матрикс. Биосоциальная ткань города». Архитектон: известия вузов» № 30 - Июль 2010 г. – 11 с.
5. Гренькова Е.Е. «Городской цитоскелет. Концепция организации природно-социальной структуры городского пространства» Архитектон: известия вузов № 38 - Июль 2012 г. – 13 с.
6. Крашенинников А.В. Жилые кварталы. Реконструкция и модернизация зданий и комплексов. Учебное пособие для архитектурных и строительных специальностей вузов. М: Высшая школа, 1988 г. – 87 с.
7. Иконников А.В. Архитектура XX века: утопии и реальность. – М.: 2001 г. – 656 с.
8. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://Archdaily.com>
9. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://Big.dk>

## РАЗДЕЛ 3. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, МЕХАНИКА И СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

*УДК 624.151.5*

### К ПРОБЛЕМЕ ЖИВУЧЕСТИ ПЕРЕКРЕСТНО – ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА СКЛОНАХ ПРИ НАЛИЧИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОСНОВАНИЯ

**Барыкин А.Б.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

Рассмотрены вопросы обеспечения живучести перекрестных ленточных фундаментов на склоне. Определены возможные причины линейных повреждений в основании. Приведены: характеристика модели, методика и результаты численного эксперимента по работе сооружения с повреждениями в основании, выполненные в программном комплексе «Plaxis 3d». Дан анализ изменения напряженно-деформированного состояния фундамента при возникновении линейных повреждений в основании. Обоснована необходимость дальнейших исследований в рассматриваемой области.

**Живучесть, перекрестно-ленточные фундаменты, Plaxis 3d, линейные повреждения основания, напряженно-деформированное состояние, основание.**

#### ВВЕДЕНИЕ

В условиях роста стоимости и дефицита свободных от застройки горизонтальных земельных участков, в Южных и других регионах Крыма наблюдается тенденция к освоению неудобий с преобладающими сложными инженерно-геологическими условиями: склонов, лощин и т.п. Одним из наиболее эффективных типов фундаментов для зданий, возводимых на склонах, являются перекрестные ленточные фундаменты, представляющие собой систему перекрестных продольных и поперечных фундаментных балок прямоугольного сечения. В нижней части склона конструкция опирается в удерживающее сооружение, выполненное, например, в виде свайного ростверка [1].

Конструкция фундамента из перекрестных лент дает возможность возводить здания на склонах большой крутизны без их подрезки. Это снижает объемы земляных работ и в ряде случаев существенно уменьшает опасность активизации оползневых явлений. Устойчивость склона возрастает также за счет исключения передачи усилий сдвига на основание, так как они полностью воспринимаются удерживающей конструкцией [2, 3].

Вместе с тем, наклонное основание обладает рядом особенностей, подвержено воздействию склоновых процессов и менее толерантно к запредельным нагрузкам. Учитывая специфику наклонного основания, одной из проблем в области проектирования и эксплуатации перекрестных ленточных фундаментов является обеспечение живучести системы "основание-фундамент" в случае повреждения основания и возникновения запроектных воздействий.

#### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Значительный вклад в разработку общей теории живучести систем внесли работы отечественных ученых: Рябина И. А., Догодонова А. Г., Шербистова Е. И., Крапивина В. Ф., Парфенова Ю. М., Флейшмана Б. С., Котельникова В. А., Черкесова Г.Н., Стекольников Ю.И. и др. Вопросам живучести в строительной сфере посвящены работы Абовского Н. П., Шапиро Г. И., Травуша В. И., Перельмутера А. В., Еремеева П. Г., Алмазова В. О, Расторгуева Б. С., Тамразяна А. Г., Колчунова В. Н., Ключевой Н. В. и др. [4-13]. Данные исследования не затрагивают вопросов живучести фундаментных конструкций и, в частности, перекрестных ленточных фундаментов.

#### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Цель работы: на основании результатов численного эксперимента обосновать необходимость проведения исследований в области живучести перекрестно-ленточных фундаментов.

Задачи исследования:

- выбор методики проведения численных экспериментов;
- проведение экспериментальных исследований живучести перекрестных ленточных фундаментов при повреждениях основания (численный эксперимент в программе Plaxis);
- анализ результатов численного эксперимента.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

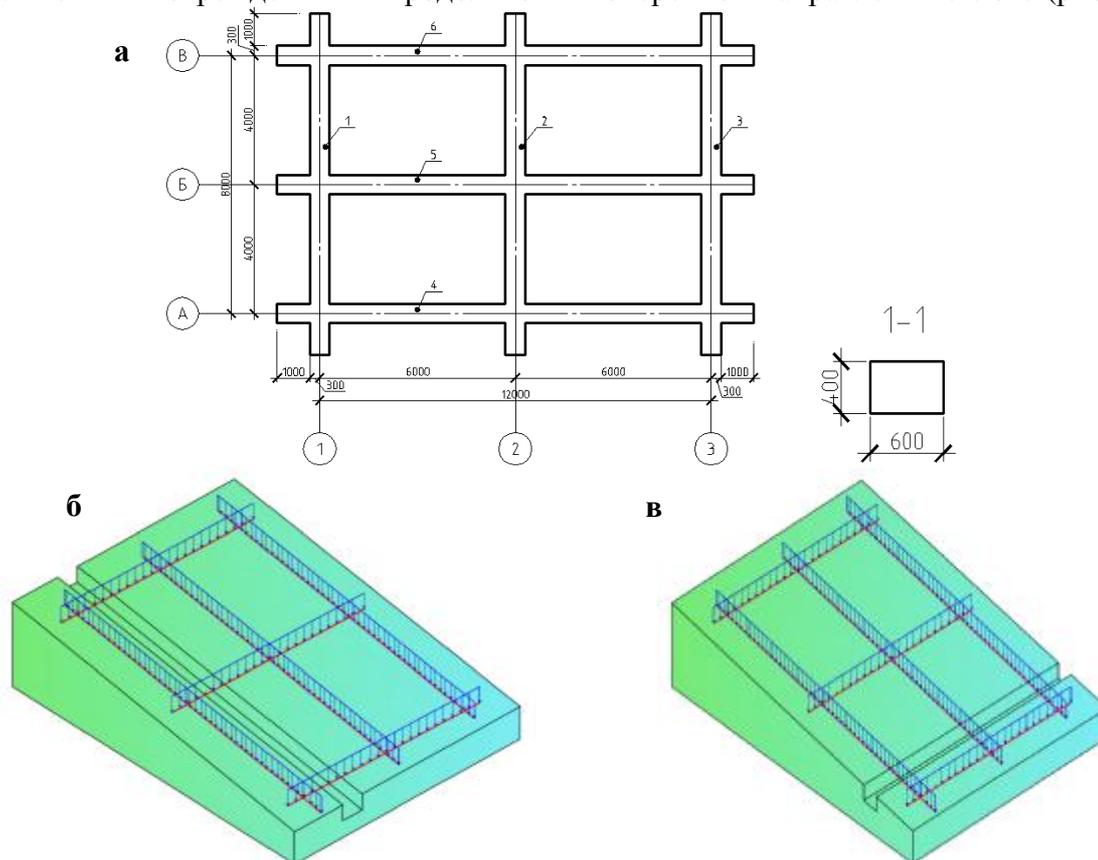
Методика исследования включала: численный эксперимент, анализ и синтез; дедукцию; индукцию.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Сквозные (линейные) повреждения основания представляют собой распространяющиеся на всю ширину или длину здания участки под фундаментами либо на небольшом удалении от них, на которых не обеспечивается выполнения функций основания, или/и нарушается контакт фундамента с основанием. Такие повреждения могут возникать из-за:

- устройства траншей при прокладке коммуникаций;
- изменения физико-механических характеристик грунта оснований с переходом в текучее или текуче-пластичное состояние, например из-за воздействия воды при утечках трубопроводов;
- склоновых процессов в виде перемещения поверхностных участков массива грунта, возникновения трещин, эрозии грунта, абразии и т.д.

Для исследования работы перекрестных ленточных фундаментов на склоне при наличии линейных сквозных повреждений в основании был проведен численный эксперимент, который выполнялся в программном комплексе Plaxis 3d. Исследовались два вида линейных повреждений – в продольном и поперечном направлении склона (рис.1).



**Рис. 1. Исследуемый перекрестно-ленточный фундамент: а – конструкция в плане; б,в - модель в программе Plaxis 3d при наличии повреждений в продольном и поперечном направлении**

В качестве исходных данных для численного эксперимента принимались следующие параметры модели:

1) грунт – суглинок со следующими физико-механическими характеристиками:

- модуль деформации  $E=28000 \text{ кН/м}^2$ ;
- коэффициент Пуассона  $\nu=0,3$ ;
- сцепление грунта  $c=34 \text{ кН/м}^2$ ;
- угол внутреннего трения  $\varphi=23 \text{ град}$ ;
- коэффициент пористости  $e=0,55$ ;
- объемный вес грунта выше уровня грунтовых вод  $\gamma_{\text{unsat}}=20 \text{ кН/м}^3$ ;
- объемный вес грунта ниже уровня грунтовых вод  $\gamma_{\text{sat}}=21 \text{ кН/м}^3$ .

2) железобетонный перекрестный ленточный фундамент со следующими характеристиками:

- площадь сечения  $A=0,24 \text{ м}^2$ ;
- объемный вес  $\gamma=25 \text{ кН/м}^3$ ;
- модуль Юнга  $E=21 \cdot 10^6 \text{ кН/м}^2$ ;
- момент инерции  $I_3=0,0032 \text{ м}^4$ ;
- момент инерции  $I_2=0,0072 \text{ м}^4$ .

3) нагрузка - распределенная интенсивностью  $80 \text{ кН/м}^2$ .

Повреждение в грунте имело ширину и высоту  $1 \text{ м}$ , создавалось путем выключения характеристик грунта на заданном участке массива в соответствующей фазе расчета.

Расчет модели предусматривал четыре последовательных фазы:

- initial phase – расчет грунта в первоначальном состоянии;
- phase 1 – расчет с фундаментом без нагрузки;
- phase 2 – расчет при приложении к фундаменту нагрузки интенсивностью  $80 \text{ кН/м}^2$ ;
- phase 3 – расчет при выключении из работы системы одно из заданных повреждений.

Для анализа результатов рассмотрим вторую и третью фазы расчета. Результаты расчета в виде максимальных отрицательных и положительных усилий (момента  $M$ , поперечной силы  $Q$  и продольного усилия  $N$ ) представлены в табл. 1 и 2.

**Таблица 1**

**Максимальные усилия в модели перекрестно-ленточного фундамента при наличии сквозного линейного повреждения в продольном направлении (номер балки указан на рис.1, а)**

№ балки	Phase 2						Phase 3					
	N, kN		Q, kN		M, kNm		N, kN		Q, kN		M, kNm	
	«-»	«+»	«-»	«+»	«-»	«+»	«-»	«+»	«-»	«+»	«-»	«+»
1	-16,4	-	-48,98	37,44	-	43,67	-42,34	-	-70,99	56,32	-	96,36
2	-7,77	-	-32,29	27,15	-0,7013	32,95	-49,41	-	-56,91	62,13	-23,18	98,99
3	-7,912	-	-45,27	62,52	-	58,17	-25,07	-	-72,35	56,73	-0,948	113,1
4	-270,2	-	-49,94	26,31	-47,5	48,9	-296	-	-63,25	33,97	-61,98	54,54
5	-226,5	-	-44,39	21,04	-27,6	47,16	-216,7	-	-42,38	24,55	-37,91	56,12
6	-259,9	-	-46,09	17,66	-21,31	34,2	-261,8	-	-46,46	19,32	-21,13	35,32

Эпюры изгибающих моментов, полученные в результате расчета, представлены на рис. 2 и 3. Как видно из рис. 1, изгибающий момент при введении продольного повреждения в наибольшей степени возрос в поперечных балках над повреждением. Так увеличение в балке 1 составило 120%, в балке 2 - 200%, в балке 3 - 82%. Существенным были изменения продольной силы в поперечных балках, составившие 2,6 раза в балке 1, 6,35 раза в балке 2 и 3,17 в балке 3. Максимальные изменения поперечной силы наблюдались у повреждения и составили 1,5 раза в балке 1, 2,9 раза в балке 2 и 1,6 раза в балке 3.

Таблица 2

Максимальные усилия в модели перекрестно-ленточного фундамента при наличии сквозного линейного повреждения в продольном направлении (номер балки указан на рис.1, а)

№ балки	Phase 2						Phase 3					
	N, kN		Q <sub>13</sub> , kN		M <sub>2</sub> , kNm		N, kN		Q <sub>13</sub> , kN		M <sub>2</sub> , kNm	
	«-»	«+»	«-»	«+»	«-»	«+»	«-»	«+»	«-»	«+»	«-»	«+»
1	-16,4	-	-48,98	37,44	-	43,67	-16,22	-	-49,86	38,27	-	45,69
2	-7,77	-	-32,29	27,15	-0,701	32,95	-7,768	-	-36,95	35,94	-2,973	38,62
3	-7,912	9,379	-45,27	62,52	-	58,17	-10,99	14,41	-53,08	74,93	-	79,77
4	-270,2	-	-49,94	26,31	-47,5	48,9	-248,5	-	-47,81	44,82	-40,49	33,1
5	-226,5	-	-44,39	21,04	-27,6	47,16	-153,2	3,49	-38,63	52,19	-45,59	55,82
6	-259,9	-	-46,09	17,66	-21,31	34,2	-200,8	-	-35,56	57,6	-63,51	59,88

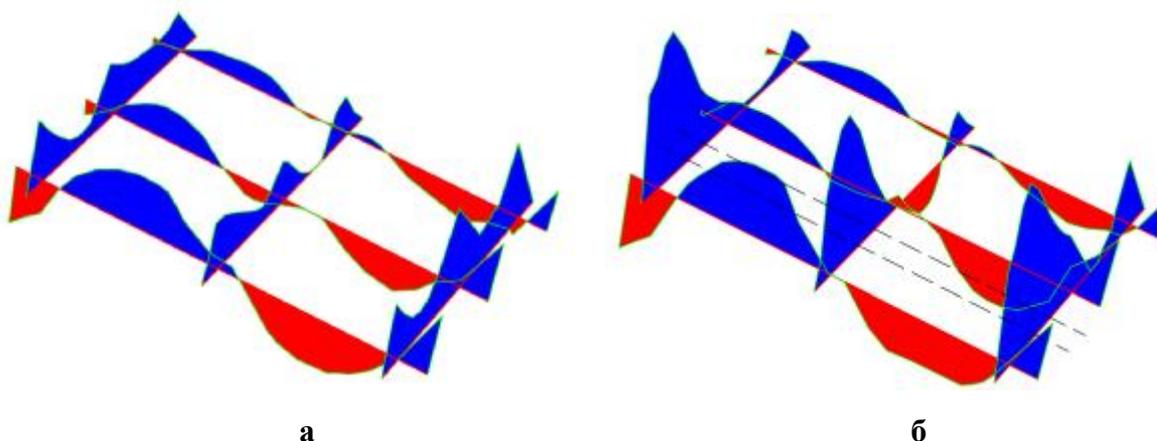


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов в лентах, а – без повреждения, б – при наличии сквозного линейного повреждения в продольном направлении

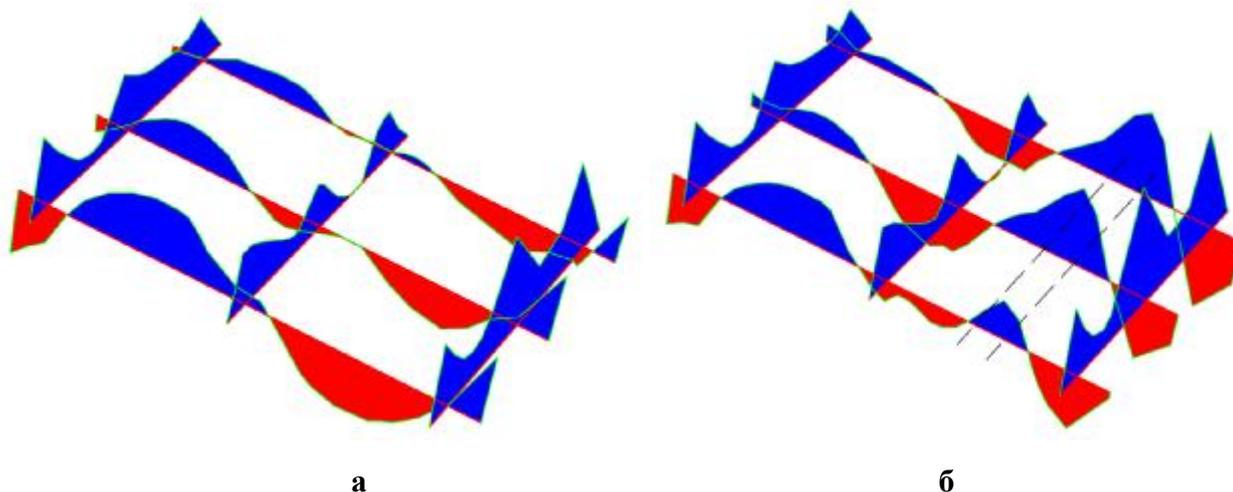


Рис. 3. Эпюры моментов в лентах, а – без повреждения, б – при наличии сквозного линейного повреждения в поперечном направлении

В продольных лентах, расположенных в непосредственной близости к повреждению, наибольшее увеличение максимального изгибающего момента достигло 30% в ленте 4 и 37% в ленте 5. Одновременно наблюдалось изменение и формы эпюр изгибающих моментов в данных лентах. Увеличение максимальных величин изгибающих моментов в ленте 6, удаленной от повреждения было незначительным. На фоне небольшого увеличения продольной силы в ленте 4 произошло его снижение в ленте 5. Увеличение

поперечной силы в наибольшей степени наблюдалось в ленте 4 а максимальное его значение составило 26%.

Введение поперечного повреждения в основание сопровождалось изменением формы эпюр изгибающих моментов в продольных балках во втором пролете с изменением знака ординат на участках у повреждения. В поперечных балках 1 и 2 введение поперечного повреждения не привело к существенному изменению усилий. В балке 3, расположенной ниже повреждения, изменение максимального изгибающего момента составило 37%, продольной силы 54%, а поперечной силы 21%.

Учитывая, что при введении сквозных повреждений в грунтовом основании происходят значительные изменения в ординатах эпюр изгибающих моментов, поперечных и продольных сил, а так же изменения в форме эпюр со сменой знака на отдельных участках, можно сделать вывод о значительном влиянии повреждений на напряженно-деформированное состояние фундамента. Соответственно для обеспечения безопасности эксплуатации перекрестных ленточных фундаментов на склонах необходимо проведение исследований и разработка методики оценки их живучести при возникновении повреждений грунтового основания.

### **Выводы**

1. Возникновение линейных повреждений в грунтовом основании приводит к значительному росту изгибающих моментов, продольных и поперечных сил в перекрестных ленточных фундаментах на склоне. Наибольшие изменения наблюдаются в лентах у повреждений.

2. Увеличение усилий в фундаментных лентах и изменение формы их эпюры зависит от размеров и расположения повреждений, характеристик самого фундамента.

3. Потеря несущей способности перекрестного ленточного фундамента на склоне при возникновении линейных повреждений в основании может наступать в результате превышения максимальных расчетных усилий, а так же изменения знака изгибающего момента.

4. Для перекрестных ленточных фундаментов на склонах, где вероятно возникновение линейных повреждений в основании, необходим расчет конструкций на живучесть. Для разработки методики расчета требуется проведение экспериментальных и теоретических исследований.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Барыкин А. Б. К вопросу о биопозитивности строительства на сложном рельефе / Б. Ю. Барыкин, А. Б. Барыкин // MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. — Lublin, 2012. — Vol. 14, № 6. — P. 125—135.
2. Барыкин А. Б. Ресурсосберегающие принципы проектирования зданий на сложном рельефе / Б. Ю. Барыкин, А. Б. Барыкин // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. (По материалам девятой междунар. науч.-практ. конф. "Геометрическое и компьютерное моделирование: энергосбережение, экология, дизайн", 24-28 сент. 2012 г.). — Симферополь : НАПКС, 2012. — Вып. 41. — С. 39—44.
3. Барыкин Б.Ю. Взаимодействие перекрестно-ленточного фундамента на склоне с песчаным основанием: диссертация на соискание учен. степ. канд. тех. наук. — Днепропетровск, 1990. — 271 с.
4. Александрович В.Ф. Фазы деформации, пластические зоны в основании и осадки ленточного фундамента./ Александрович В.Ф., Федоровский В.Г. // Ускорение научно-технического прогресса в фундаментостроении: Т.П. Методы проектирования эффективных конструкций оснований и фундаментов.— НИИОСП.— М.:Стройиздат,1987.— С. 114-115.

5. Алексеев С.И. Автоматизированный метод расчета фундаментов по двум предельным состояниям./ Алексеев С.И. — Псков: Псковский политехнический институт Санкт-Петербургского государственного университета, 1996. —206с.
6. Алмазов В.О. Проблемы сопротивления зданий прогрессирующему разрушению / В.О. Алмазов, А.И. Плотников, Б.С. Расторгуев // Научно-технический журнал Вестник МГСУ, № 2. Т.1. 2011. Периодическое научное издание. Москва. МГСУ. – с. 15-20.
7. Дьяков И. М. Предпосылки и некоторые аспекты применения теории живучести к оценке работы подпорных стен на запредельные нагрузки / И. М. Дьяков // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2011. — Вып. 39. — С. 29—34.
8. Дьяков И. Оценка живучести отдельно стоящих фундаментов на основе изучения процесса их разрушения / Игорь Дьяков // MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. — Lublin, 2013. — Vol. 15, № 5. — P. 115—122.
9. Дьяков И. М. Живучесть фундаментов и ее роль в прогрессирующем разрушении зданий и сооружений / И. М. Дьяков // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2013. — Вып. 46. — С. 63—71.
10. Ключева Н.В. Метод экспериментального определения параметров живучести железобетонных стержневых систем / Н.В. Ключева, А.С. Бухтиярова, А.А. Дорофеев // Материалы междунар. науч.-техн. конф. "Строительная наука-2010: теория, практика и инновации - Северо-Арктическому региону». Архангельск : САФУ, 2010. - С. 191-200.
11. Ключева Н.В. Алгоритм расчета живучести статически неопределимых железобетонных балок / Н.В. Ключева, Н.Б. Андросова, А.С. Бухтиярова // Изв. ОрелГТУ. Сер. Строительство. Транспорт. 2007. № 3. С. 14-22.
12. Колчунов В.И. К вопросу алгоритмизации задачи расчета живучести железобетонных конструкций при потере устойчивости / В.И. Колчунов, М.В. Моргунов, Л.В. Кожаринова, Н.О. Прасолов // Труды юго-западного государственного университета. Промышленное и гражданское строительство, №12, 2012. – с. 52-54.
13. Тамразян А.Г. Рекомендации к разработке требований к живучести зданий и сооружений // Научно-технический журнал Вестник МГСУ, № 2. Т.1. 2011. Периодическое научное издание. Москва. МГСУ. – с. 77-83.

**УДК 624.131.543**

## **ВИДЫ КАТАСТРОФ В ОПОЛЗНЕВОМ ПРОЦЕССЕ**

**Ефремов А.В.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

Описаны виды катастроф оползней, возникающих в процессе перехода оползней из стационарного положения (устойчивое и неустойчивое) в активное состояние. Раскрыты сущность катастроф различного вида и условия их возникновения. Дана классификация вида катастроф и их характеристика в различных условиях поведения. Исходя из положений второго закона Ньютона о движении тел по наклонной плоскости, выявлено соотношение между силами сдвига пород оползня и силами сопротивления их сдвигу.

**Оползни, катастрофы, устойчивое поведение, равновесное поведение, трёхмерное пространство**

## ВВЕДЕНИЕ

Для решения задач о своевременности предупреждения и эффективности инженерной защиты объектов различного функционального назначения расположенных на территории оползня, необходимо знать какие виды хозяйствования могут пострадать при активизации оползней. При этом необходимо кроме разработки пространственно-временных прогнозов оценивать также степень опасности застройки поверхности, расположенной в зоне оползня.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

К числу авторов, занимающихся вопросами поведения оползней в момент перехода их от стационарного положения (устойчивого или неустойчивого) в активное состояние следует отнести: Аносова Д.В., Синая Я.Г. [1], которые описали поведение различных систем во время перехода на новую траекторию, Смейла С. [2], описавшего поведение динамических систем в критические моменты, Стюарта И. [3], описавшего виды катастроф и их возникновение, Угненко Е.Б., Тимченко О.Н. [4], которые разработали и усовершенствовали математическую модель прогнозирования возникновения грунтовых оползней.

## ЦЕЛЬ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ, МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью статьи является описание видов катастроф, возникающих в процессе перехода оползня из стационарного в активное состояние.

Задачи:

- раскрыть условия возникновения катастроф;
- раскрыть сущность катастроф различного вида.

Методика исследования. В качестве средств исследования приняты положения теории катастроф.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для выявления причин катастроф, возникающих в процессе перехода оползня из равновесного положения в активное состояние, обратимся к теории катастроф в приложении к развитию оползневых процессов.

Одно из важнейших положений теории катастроф звучит следующим образом. Для четырех (или менее) управляющих параметров и любого числа переменных состояния тел в пространстве существуют семь типов элементарных катастроф: «прогиба пружинящей пластины», «сборка», «складка», «ласточкин хвост», «эллиптическая омбилика», «гиперболическая омбилика», «бабочка». Из указанных видов катастроф адекватно отражают активизацию оползней только три вида катастроф: сборка, складка, «ласточкин хвост».

Рассмотрим указанные типы катастроф с точки зрения применимости их для описания катастроф в процессе развития оползневых процессов.

Катастрофа «сборка» описывается в трехмерном пространстве управления оползнем, где ось  $(F)$  – статистические силы сдвига, ось  $(F)$  и ось  $(F)'$  – динамические силы сдвига, совмещены по направлению со статистическими силами сдвига. Сборки образуются, в основном, при движении оползней сдвига с блоковым смещением тела по вогнутым криволинейным или плоским поверхностям. Сюда относятся:

- срезающие оползни с циркообразной или фронтальной формой в плане. Здесь подошва оползня не приурочена к поверхностям ослабления, а линия скольжения близка к дуге окружности;
- конвективные оползни, которые преимущественно совпадают с поверхностью (поверхностями) ослабления;
- срезающие-консеквентные, которые частично совпадают с поверхностью (поверхностями) ослабления.

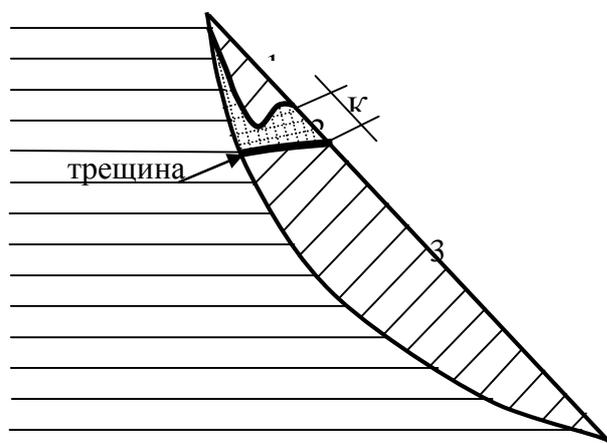
Катастрофа «сборки» происходит в основном при динамическом воздействии на оползень (скажем, сейсмическом толчке). Механизм образования следующий: происходит сейсмический толчок со значительным коэффициентом сейсмического ускорения, однако

на пути массив большего объема и веса, с большим коэффициентом сцепления и трения, который сила сейсмического ускорения сдвинуть не может. В этом случае сила сейсмического ускорения растрчивается на надвиг верхнего массива по уклону по поперечной к линии движения трещине на нижнюю часть массива оползня (рис. 1, 2).

Определяющее значение сейсмического сотрясения, как побудителя выхода оползня из устойчивого и неустойчивого положения очевидно, так как сущность этого явления заключается в первую очередь в резком моментальном увеличении сил сдвига оползня. Однако нам необходимо выявить величину сил необходимых для того, чтобы вывести оползень из устойчивого или неустойчивого равновесия.



**Рис. 1. Кривая катастрофы «сборки» – надвиг**



**Рис. 2. Катастрофа «сборка» - надвиг**

- 1) верхний по отношению к трещине массив
- 2) К-зона катастрофы (разрушенный массив)
- 3) нижний по отношению к трещине массив

В результате разрушения массива пород и смещения поверхности оползня по вертикали все строения в пределах катастрофы разрушаются.

Во время сейсмического сотрясения на оползень воздействует моментный импульс сотрясения с абсолютным ускорением  $\alpha_0$ , направленным вниз и к горизонту под углом  $\alpha$ .

Исходя из положений второго закона Ньютона о движении тел по наклонной плоскости. Соотношение между силами сдвига оползня и силами сопротивления его сдвигу можно определить по следующей формуле:

$$F_{\text{сд}} - F_{\text{соп}} \geq 1 \quad (1)$$

где  $F_{сд} = \frac{k_{сот}}{\sin \alpha}$  - сила сдвига пород, мм/с<sup>2</sup>;

$k_{сот} = \frac{c_0}{\rho}$  - коэффициент сотрясения пород, мм/с<sup>2</sup>;

$\rho$  - коэффициент ускорения свободного падения тела 9810, мм/с<sup>2</sup>;

$c_0$  - величина абсолютного сейсмического ускорения, мм/с<sup>2</sup>;

$F_{соп} = (1 - \frac{k_{сот}}{\sin \alpha})$  - сила сопротивления сдвигу пород, мм/с<sup>2</sup>.

Теоретический вывод - формула 1 базируется на схеме разложения сил при движении тела по наклонной плоскости. Результаты расчета состояния оползня, расположенного на наклонной плоскости под углом наклона 12°.

Как видно из табл. 1 - если угол наклона плоскости, по которой движется оползень принять равным 12°, то абсолютное сейсмическое ускорение от 2000 до 3000 мм/с<sup>2</sup> может вывести оползень из устойчивого или неустойчивого равновесия (величины сдвига превышают величины противодействия сдвигу (знак +)). Сейсмическое ускорение в пределах 500-1500 мм/с<sup>2</sup> способно вывести оползень только из неустойчивого равновесия.

Таблица 1

Расчетные параметры состояния оползня.  
Угол 12°, sin α = 0,2079, cos α = 0,9781, g = 9810 мм/с<sup>2</sup>

Абсолютное сейсмическое ускорение мм/с <sup>2</sup>	$k_{сот} \frac{c_0}{\rho}$	$\frac{k_{сот}}{\sin \alpha}$	$(1 - \frac{c_0}{\sin \alpha g}) \cos \alpha$	$\frac{c_0}{\sin \alpha g} - (1 - \frac{c_0}{(\sin \alpha g)}) \cos \alpha$
3000	0,31	1,49	0,67	+ 0,82
2500	0,25	1,20	0,73	+ 0,47
2000	0,20	0,98	0,78	+ 0,20
1500	0,16	0,75	0,84	- 0,09
1000	0,10	0,49	0,5	- 0,01
500	0,05	0,25	0,73	- 0,005

Катастрофы типа «складка» образуются при движении оползней типа «выдавливание». При этом они могут образовываться как при плавном сдвиге оползня, так и при динамическом толчке. Здесь механика катастроф следующая.

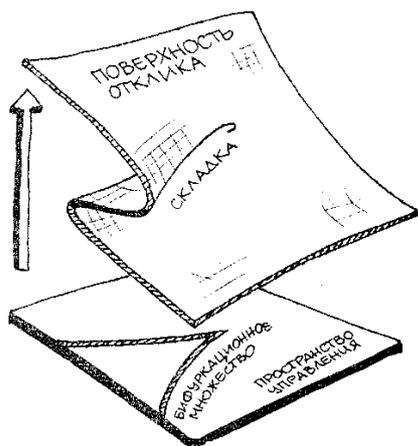


Рис. 3. Катастрофа «складка»

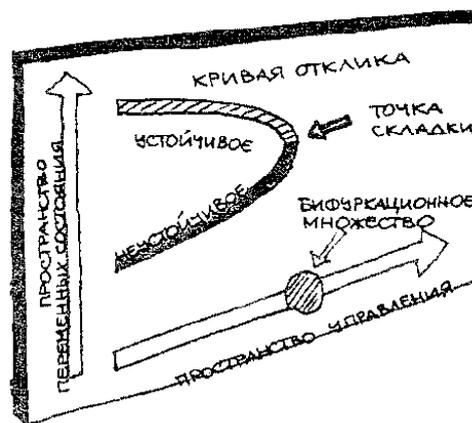


Рис. 4. Кривая катастрофы «выдавливание»

В головной части оползня происходит выдавливание приподошвенного слоя из-под вышележащего жесткого смещающегося блока, в средней и языковой частях блокового смещения по определенной поверхности, то есть происходит как бы «подныривание» одной части блока под другую (рис. 3, 4).

Особенности, характеризующие данный тип оползней следующие:  
форма в плане фронтальная;

наличие у бровки склона высокого и крутого уступа, примыкающего к полосе оползневых накоплений;  
присутствие в коренном массиве слабого слоя на отметках ниже подошвы этого уступа;  
как правило, залегание коренных пород горизонтальное.

Вследствие вспучивания разрушенного массива все строения в районе катастрофы разрушаются.

Катастрофа «ласточкин хвост» так же как и катастрофа складки образуется при движении оползней типа «выдавливание». Разница в том, что при катастрофе «складка» выдавливание пород происходит в одном крыле оползня, а при катастрофе «ласточкин хвост», в двух крыльях одновременно (рис. 5). Поэтому и последствия более катастрофические – все строения в местах выдавливания на обоих крыльях будут разрушены.



**Рис. 5. Объем откликов с изображением двух сечений этого объема, соответствующих двум сечениям бифуркационного множества (а), фигура «ласточкин хвост» (б)**

Другие типы катастроф, указанные в начале статьи, закономерностей катастроф при активизации оползней адекватно не отражают.

#### **Выводы**

1. Доказывается, что из семи видов катастроф, зафиксированных теорией катастроф («прогиб пружинящей пластины», «сборка», «складка», «ласточкин хвост», «эллиптическая омбилика», «гиперболическая омбилика», «бабочка») три вида отражают катастрофы, возникающие в оползневом процессе.

2. Описана сущность катастроф оползневого процесса («сборка», «складка», «ласточкин хвост») и условия их возникновения.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Аносов Д.В. Некоторые гладкие эргодические системы / Д.В. Аносов, Я.Г. Синай // Успехи математической науки. – 1967. – Т. 22, вып. 5. – С. 107–172.
2. Смейл С. Дифференцируемые динамические системы // Успехи математической науки. – 1970. – Т.25, вып.1. – С. 113-185.
3. Стюарт И. Тайны катастроф; пер. с франц. – М: Мир, 1987. – 77 с.
4. Угненко Е.Б. Математическая модель прогнозирования возникновения грунтовых оползней / Е.Б. Угненко, О.Н. Тимченко // Вестник ХНАДУ. – 2010. – №49. – С. 49–56.

## РАЗДЕЛ 4. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

*УДК 519.8*

### НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О РАЗМЕЩЕНИИ КОММУНИКАЦИОННЫХ УЗЛОВ СРЕДСТВАМИ ТЕОРИИ ИГР

**Погребицкая А.М.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

В работе рассмотрена задача о проектировании коммуникационной системы связи, при котором необходимо учитывать ограниченность мощности сигнала. Задача сведена к многокритериальной задаче размещения коммуникационных узлов, где определяющим фактором является оптимизация расстояний между ними. Поставленная цель достигнута с помощью методики упорядочения евклидового точно-векторного пространства и подхода, основанного на эквивалентности стратегической игры и многокритериальной задачи.

**Проектирование коммуникационных узлов, многокритериальная оптимизационная задача, принятие решений, упорядочение пространства, стратегическая игра**

#### ВВЕДЕНИЕ

При проектировании сложных технических систем часто возникают задачи, в которых необходимо в метрическом пространстве сделать выбор о размещении точечных объектов (передатчики, верстаки, здания, коммуникационные узлы, и т.д.), исходя при этом из требования минимизации максимальных или максимизации минимальных взаимных расстояний между этими объектами. Например, на конструктивной пластине некоторого проектируемого аппарата, которая состоит из двух разнородных частей, выделены три зоны. В одной из зон необходимо разместить чувствительный к температурным влияниям жизненно важный для аппарата точечный некоторый элемент. Известно, что в точках остальных зон с одинаковой вероятностью возможно спонтанное возгорание материалов пластины. Перед проектировщиком может встать задача о нахождении точки размещения данного элемента в зоне, что бы максимально отсрочить момент его разрушения при возможном загорании пластины. Задачи данного вида называются многокритериальными задачами оптимизации и при решении их применяются различные подходы.

Как известно, постановка многокритериальной задачи оптимизации начинается с построения векторной критериальной функции и упорядочения, соответствующим образом, пространства ее значений – пространства оценок. Характерной чертой этих задач является наличие единственного лица (в этой роле может выступать и группа специалистов), которое определяется относительно упорядочения пространства оценок критериальной функции и, опираясь на это упорядочение, выбирает такое размещение объектов, такую ситуацию, которая отвечает оптимальному значению критериальной функции.

#### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

На сегодняшний день существуют различные методы решения задач многокритериального принятия решений. Классическими подходами являются принцип Эджворта-Парето и теория полезности фон Неймана и Моргиршерна [1, 2].

Последнее десятилетие получила развитие оригинальная методика решения данных многокритериальных задач, которая базируется на концепции упорядочения евклидового точно-векторного пространства «по максимуму» и «по минимуму» и, при определенных условиях, основанная на эквивалентности стратегической игры и многокритериальной

задачи [3, 4]. С использованием теоретических положений, освященных в [3, 4] было решено большое количество инженерных и технических задач, например, задача о размещении объектов на участках горной дороги, минимизационная задача перспективного планирования расположения товарной станции и консервной фабрики в зависимости от размещения поставщиков сырья и т.д. Однако большое количество подобных задач осталось не решенной, не изученной.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью настоящей статьи является решение конкретной технической задачи с несколькими критериями, обусловленных тем, что при выборе наилучшего варианта приходится учитывать много различных требований, и среди этих требований встречаются противоречащие друг друга.

Рассматривается задача о проектировании коммуникационной системы связи, при котором необходимо учитывать ограниченность мощности сигнала. Поэтому, стараясь обеспечить качественные нормативы работы данной системы, получена и решена многокритериальная задача размещения коммуникационных узлов, где определяющим является оптимизация расстояний между ними.

Поставленная цель была реализована с помощью методики упорядочения пространства  $R^n$  по минимуму и основанной на эквивалентности стратегической игры и многокритериальной задачи.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Используемый подход подробно изложен в работах [3, 4] и основывается на следующих теоретических понятиях.

1. Упорядочение пространства  $R^n$  по максимуму. Пусть  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  и  $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  произвольные два вектора пространства  $R^n$ , и пусть  $X^* = (X_{i_1}, X_{i_2}, \dots, X_{i_n}) = b(X)$  и  $Y^* = (Y_{j_1}, Y_{j_2}, \dots, Y_{j_n}) = b(Y)$ , где  $X_{i_1} = \max\{X_i | i = \overline{1, n}\}$  – одно из максимальных чисел  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  координатного множества чисел, номер которого  $i_1$ ,  $X_{i_2} = \max\{X_i | i = \overline{1, n}; i \neq i_1\}, \dots, X_{i_k} = \max\{X_i | i = \overline{1, n}; i \neq i_1, \dots, i_{k-1}\}$ . Аналогично определяются координаты вектора  $b(Y)$ , например,  $Y_{j_1} = \max\{Y_j | j = \overline{1, n}\}$ . Считается, что вектор  $X$  строго меньше по максимуму вектор  $Y$  ( $X \underset{\max}{<} Y$ ), если при некотором « $k$ »

$$X_{i_1} = Y_{j_1}, X_{i_2} = Y_{j_2}, \dots, X_{i_{k-1}} = Y_{j_{k-1}}, \text{ а } X_{i_k} < Y_{j_k}.$$

Таким же образом вводится понятие упорядочения пространства  $R^n$  по минимуму.

2. Задача, в которой необходимо найти множество  $B_{\max}^0$  ( $B_{\max}^0 = \text{Arg max}_{\min} \{g(X); X \in B_0; \leq\}$  – совокупность всех точек максимума по минимуму функции  $\overline{g(X)}$  на некотором множестве  $B_0$ ) и максимальный по минимуму вектор  $\overline{g(X_0)}$ ,  $X_0 \in B_{\max}^0$ , называется многокритериальной задачей максимизации по минимуму критериальной функции  $\overline{g(X)}$  на множестве  $B_0$  и обозначается символом:

$$\overline{g(x)} \underset{\min}{\xrightarrow{x \in B_0}} \max. \quad (1)$$

3. Сформулированы и доказаны теоремы о существовании и единственности решения (1).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Математическая постановка задачи. Пусть в пространстве  $R^3$  задано двумерное многообразие  $M : [(z - 2) \vee (z - 2 + x)] \wedge Z = 0$ , которое состоит из многообразий

$M_1, M_2, M_3$ , то есть  $M = M_1 \cup M_2 \cup M_3$ . Согласованные параметрические изображения этих многообразий в пространстве  $R^3$  имеют такой вид:

$$M_1 : U_1(x, y, z) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + p \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$(t, p) \in T_1 = \{(t, p) \in R^2 | t \leq 0; p \in (-\infty; \infty)\};$$

$$M_2 : U_2(x, y, z) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 1/\sqrt{2} \\ 0 \\ -1/\sqrt{2} \end{pmatrix} + p \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$(t, p) \in T_2 = \{(t, p) \in R^2 | t \in [0; 2\sqrt{2}]; p \in (-\infty; \infty)\};$$

$$M_3 : U_3(x, y, z) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2\sqrt{2} + 2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + p \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$(t, p) \in T_3 = \{(t, p) \in R^2 | t \geq 2\sqrt{2}; p \in (-\infty; \infty)\}.$$

Так как  $T_1 \cup T_2 \cup T_3 = R^2$ , тогда параметрическое представление многообразия  $M$  записывается в виде

$$M : U(x, y, z) = \begin{cases} U_1(x, y, z), & (t, p) \in T_1, \\ U_2(x, y, z), & (t, p) \in T_2, \\ U_3(x, y, z), & (t, p) \in T_3. \end{cases}$$

Пусть на многообразии  $M$  принята метрика и ставится задача:

среди точек множества семьи  $H^* = \{H_1^*, H_2^*, H_3^*, H_4^*\}$ , при условии максимизации по минимуму, найти точки размещения коммуникационных узлов;

$$H_1^* : \begin{cases} (x+3)^2 + y^2 \leq 1, \\ z = 2, \end{cases} \quad H_2^* : \begin{cases} (x+2)^2 + (y-5)^2 \leq 4, \\ z = 2, \end{cases}$$

$$H_3^* : \begin{cases} x + z = 2, \\ y = 3, \\ 0 \leq x \leq 2, \end{cases} \quad H_4^* : \begin{cases} (x-8+2\sqrt{2})^2 + y^2 \leq 4, \\ z = 0, \end{cases}$$

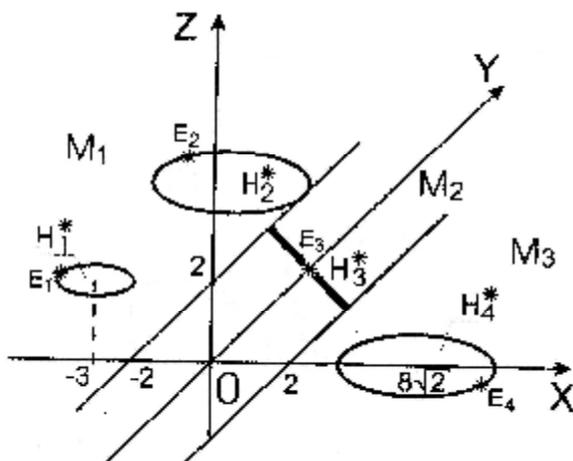


Рис. 1. Постановка задачи и результат в пространстве  $R^3$

Данная задача является гомоморфным образом соответствующей ей задачи максимизации по минимуму (1) для семьи  $H = \{H_1, H_2, H_3, H_4\}$  в пространстве  $R^2 \supset H$ , где

$$H_1 : (t+3)^2 + p^2 \leq 1, \quad H_2 : (t+2)^2 + (p-5)^2 \leq 4,$$

$$H_3 : \begin{cases} 0 \leq t \leq 2\sqrt{2}, \\ p = 3, \end{cases} \quad H_4 : (t-6)^2 + p^2 \leq 4,$$

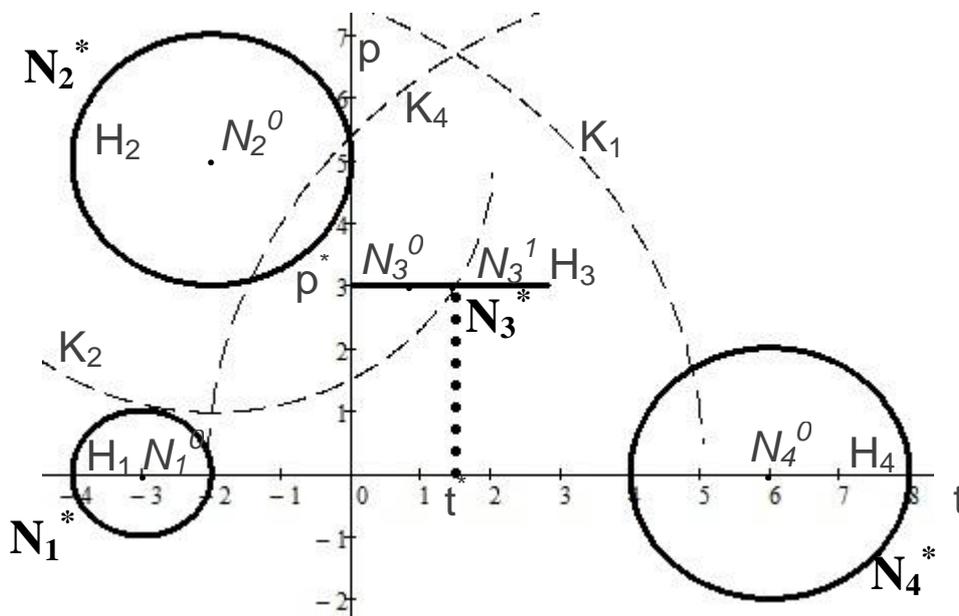


Рис. 2. Постановка задачи и решение в пространстве  $R^2$

Рассмотрим данную задачу при  $\mathfrak{R} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot d$ .

Текущую точку множества  $H_i$  ( $i=1,2,3,4$ ) обозначим через  $N_i = (X_1^i, X_2^i)$ . Меры точек  $N_i$  определяются, согласно с матрицей  $\mathfrak{R}$ , значениями функций  $P_i(X)$ , где  $X = \{N_1, N_2, N_3, N_4\}$ ;

$$mes N_1 = P_1(x) \stackrel{def}{=} d(N_1, N_2) \vee d(N_1, N_3) \vee d(N_1, N_4),$$

$$mes N_2 = P_2(x) \stackrel{def}{=} d(N_1, N_2) \vee 2d(N_2, N_3) \vee d(N_2, N_4),$$

$$mes N_3 = P_3(x) \stackrel{def}{=} d(N_1, N_3) \vee 2d(N_2, N_3) \vee d(N_3, N_4),$$

$$mes N_4 = P_4(x) \stackrel{def}{=} d(N_1, N_4) \vee d(N_2, N_4) \vee d(N_3, N_4).$$

Необходимо максимизировать по минимуму критериальную функцию  $\overline{g(X)} = (P_1(X), P_2(X), P_3(X), P_4(X))$  на множестве  $B_0 = H_1 \times H_2 \times H_3 \times H_4$  при условии (1).

*Решение.* В соответствии с теоремой о единственности [3] данная задача имеет единственное решение. Для его нахождения используем следующий алгоритм.

*Первый шаг.* Пусть  $X_0 = (N_1^0(-3;0), N_2^0(-2;5), N_3^0(1;3), N_4^0(6;0))$  начальная мультистратегия соответствующей задачи (1) стратегической игры  $\Gamma(I, B_0)$ ,  $I = \{1, 2, 3, 4\}$ .

Вычислим матрицу реберных мер и значения критериальной функции для мультистратегии  $X_0$ :

$$\mathfrak{R}(X_0) = \begin{pmatrix} 0 & d(N_1, N_2) & d(N_1, N_3) & d(N_1, N_4) \\ d(N_2, N_1) & 0 & 2d(N_2, N_3) & d(N_2, N_4) \\ d(N_3, N_1) & 2d(N_3, N_2) & 0 & d(N_3, N_4) \\ d(N_4, N_1) & d(N_4, N_2) & d(N_4, N_3) & 0 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 5,099 & 5 & 9 \\ 5,099 & 0 & 7,211 & 9,433 \\ 5 & 7,211 & 0 & 5,831 \\ 9 & 9,433 & 5,831 & 0 \end{pmatrix}, \overline{g(X_0)} = (5; 5,099; 5; 5,831).$$

Игроки группы  $I_1^0 = \{1, 3\}$  получают наименьшие выигрыши при данной мультистратегии. Поэтому, руководствуясь регламентационным правилом (право первого хода, право согласовать свою стратегию относительно стратегий остальных игроков, предоставляется тому игроку, вектор выигрышей которого соответствующий ряд матрицы  $\mathfrak{R}(G_0(X_0))$  наименьший по минимуму), предоставляется возможность третьему игроку, выбором новой стратегии  $N_3^1(t^*, p^*)$ , увеличить свой выигрыш;

$$N_3^1(t^*, p^*) = \arg \max \{P_3(N_3(t, p), N_1^0, N_2^0, N_4^0)(t, p) \in H_3\}.$$

Таким образом, третьему игроку необходимо найти решение однокритериальной оптимизационной задачи:

$$P_3(N_3(t, p), N_1^0, N_2^0, N_4^0) \xrightarrow{(t, p) \in H_3} \max. \quad (2)$$

Приведем решение задачи (2). Пусть  $P_3(N_3^1(t^*, p^*), N_1^0, N_2^0, N_4^0) = a^*$ , тогда

$$S(P_3(N_3(t, p), N_1^0, N_2^0, N_4^0), a^*) \cap H_3 = \{N_3^1(t^*, p^*)\}. \text{ При } a \geq a^*$$

$$N_3^1(t^*, p^*) \in S(P_3(N_3(t, p), N_1^0, N_2^0, N_4^0), a) \cap H_3 = S_3.$$

Необходимо отметить, что

$$S_3 = S(d(N_1^0, N_3) \vee d(N_2^0, N_3) \vee d(N_3^0, N_3), a) \cap H_3 =$$

$$= S(d(N_1^0, N_3), a) \cap S(d(N_2^0, N_3), a/2) \cap S(d(N_4^0, N_3), a) \cap H_3,$$

то есть  $S_3$  является пересечением трех окружностей  $K_1, K_2, K_4$  с центрами в точках  $N_1^0, N_2^0, N_4^0$  и радиусом  $a$ , на множестве стратегий  $H_3$  третьего игрока.

Построим  $S_3$  при  $a=8$

Стратегия  $N_3^1(t^*, p^*)$  является решением системы:

$$\begin{cases} (t^* - 6)^2 = (t^* + 3)^2, \\ p^* = 3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} t^* = 1,5, \\ p^* = 3. \end{cases}$$

Таким образом, первое приближение имеет вид:

$$X_1 = (N_1^1(-3; 0), N_2^1(-2; 5), N_3^1(1,5; 3), N_4^1(6; 0)).$$

*Второй шаг.* Действия повторяются по схеме первого шага. Вычисляется матрица реберных мер и значения критериальной функции для мультистратегии  $X_1$

$$\overline{g(X_1)} = (5,099; 5,099; 5,408; 5,408) \underset{\min}{\geq} \overline{g(X_0)}.$$

Найдено второе приближение

$$X_2 = (N_1^2(-3,832; -0,555), N_2^2(-2; 5), N_3^2(1,5; 3), N_4^2(6; 0)).$$

Аналогично на третьем шаге для  $X_2$  вычисляется матрица реберных мер и значение критериальной функции  $\overline{g(X_2)} = (5,849; 5,849; 5,684; 5,684) \geq \overline{g(X_1)}$ .

Третье приближение имеет вид

$$X_3 = (N_1^3(-3,832; -0,555), N_2^3(-2; 5), N_3^3(1,5; 3), N_4^3(7,664; -1,109)).$$

Результатом четвертого шага является четвертое приближение вида

$$X_4 = (N_1^4(-3,832; -0,555), N_2^4(-3,736; 5,992), N_3^4(1,5; 3), N_4^4(7,664; -1,109)).$$

Пятый шаг для данной задачи является последним и в результате была найдена точная согласованная мультистратегия

$$X^* = (N_1^*(-3,832; -0,555), N_2^*(-3,736; 5,992), N_3^*(1,5; 3), N_4^*(7,664; -1,109)),$$

для которой значение критериальной функции имеет вид

$$\overline{g(X^*)} = (6,408; 6,548; 6,408; 7,412).$$

В силу того, что для найденной согласованной мультистратегии выполняются условия теоремы о единственности можно сделать следующий вывод:

согласованная мультистратегия  $X^*$  является единственным решением задачи (1) (точки  $N_1^*, N_2^*, N_3^*, N_4^*$  изображены на рисунке 2);

вектор  $\overline{g(X^*)}$  является максимальным по минимуму для критериальной функции  $\overline{g(X)}$  на множестве  $B_0$ .

Далее находится решение многокритериальной задачи максимизации по минимуму на многообразии  $M$  при отображении  $U(X, Y, Z)$ .

Обозначим на многообразии  $M$  точки, соответствующие точкам  $N_1^*, N_2^*, N_3^*, N_4^*$  при отображении  $U(X, Y, Z)$  через  $E_1, E_2, E_3, E_4$ .

Имеем

$$N_1^* \xrightarrow{u_1} E_1 = \begin{bmatrix} X_{E_1} \\ Y_{E_1} \\ Z_{E_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix} - 3 \begin{pmatrix} 1 + \frac{\sqrt{13}}{13} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} - \frac{2\sqrt{13}}{13} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3(\sqrt{13}/13+1) \\ -2\sqrt{13}/13 \\ 2 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} -3,822 \\ -0,555 \\ 2 \end{bmatrix};$$

$$N_2^* \xrightarrow{u_1} E_2 = \begin{bmatrix} X_{E_2} \\ Y_{E_2} \\ Z_{E_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix} - 2 \begin{pmatrix} 1 + \frac{7\sqrt{65}}{65} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 5 + \frac{8\sqrt{65}}{65} \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \approx \begin{bmatrix} -3,736 \\ 5,922 \\ 2 \end{bmatrix};$$

$$N_3^* \xrightarrow{u_2} E_3 = \begin{bmatrix} X_{E_3} \\ Y_{E_3} \\ Z_{E_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix} + 1,5 \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} \\ 0 \\ -\frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix} + 3 \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 1,061 \\ 3 \\ 0,707 \end{bmatrix};$$

$$N_4^* \xrightarrow{u_3} E_4 = \begin{bmatrix} X_{E_4} \\ Y_{E_4} \\ Z_{E_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2-2\sqrt{2} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + 6 \begin{pmatrix} 1 + \frac{\sqrt{13}}{13} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} - \frac{4\sqrt{13}}{13} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 6,645 \\ -1,109 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Точки  $E_1, E_2, E_3, E_4$  изображены на рисунке 1. Все вычисления проводились в среде программного пакета «MathCad».

## Выводы

В результате рассмотрения прикладной задачи о проектировании коммуникационной системы связи с помощью итерационных методов было найдено оптимальное решение данной многокритериальной задачи оптимизации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение / О. Моргенштерн, Дж. Фон. Нейман. – М. : Наука, 1970. – 456 с.
2. Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.Д. Ногин, В.В. Подиновский. – М. : Наука, 1982. – 284 с.
3. Клименко Вісс.С. Багатокритеріальні формалізації графах / Вісс. Гр. Клименко. – Харків : НТУ «Харківський політехнічний інститут», 2004. – 308 с.
4. Клименко Вісс. Г. Багатокритеріальна оптимізація на графах / Вісс. Гр. Клименко. – Х. : Майдан, 2011. – 548 с.

*УДК 69.057; 69.07*

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЖИЛЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ КАРКАСНО-СВЯЗЕВОЙ СХЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛЁГКИХ БЕТОНОВ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ КРЫМА**

**Пушкарев Б.А., Арбузова Т.А., Здоровенко А.А.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

Рассмотрены технико-экономические показатели, применяемые для определения эффективности строительства зданий различных конструктивных схем. Выполнен анализ публикаций по сборно-монолитному способу строительства. Сделан обзор строительства сборно-монолитных зданий. Приведены преимущества этого класса строительства по сравнению со сборным и монолитным строительством. Обращено внимание на необходимость выполнения технико-экономических расчётов при выборе конструктивных схем, материалов и методов строительства в сейсмических районах Крыма. Сформулированы цель и задачи научно-исследовательской магистерской работы А.А. Здоровенко.

**Сборно-монолитное строительство, лёгкий бетон, сейсмика, многоэтажные жилые здания, технико-экономические показатели, эффективность**

## ВВЕДЕНИЕ

В проектной практике экономическая эффективность применяемых в строительстве материалов и изделий рассчитывается при сравнении нескольких возможных вариантов принимаемых решений с использованием взаимозаменяемой продукции, а также для определения рациональной области применения новых материалов и изделий. При сравнении вариантов выбирается лучший материал (по эффективности применения), который определяется наименьшей суммой приведенных затрат с учетом капитальных вложений в производство данной продукции; наименьшая трудоёмкость строительства, наименьшие затраты на машины и механизмы; наилучшая технология строительства; наименьшая себестоимость строительства и эксплуатации с учётом их экологичности, а также наименьшие энергозатраты на производство материалов, на строительство и эксплуатацию здания. На эффективность строительства также влияют объёмно-архитектурные, конструктивные решения и способы строительства: монолитные, сборные и сборно-монолитные. Сборно-монолитный класс строительства, в последнее время, заказчики и проектировщики применяют очень редко. Однако, только этот класс строительства зданий может включать в себя лучшее в железобетоне: применение высокопрочных сталей; применение сборных предварительно-напряжённых конструкций

из тяжёлых и лёгких бетонов; замена ручного труда механизированным с изготовлением большей части конструкций на заводах железобетонных изделий; создание жёстких конструктивных схем, не уступающих монолитным.

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Исследованиями в области сборно-монолитных конструкций занимались В.Н. Байков, А.П. Васильев, А.А. Гвоздев, Е.П. Гуров, О.О. Довженко, С.А. Дмитриев и др. [1-7,10-12]. А.А. Гвоздев, А.П. Васильев, С.А. Дмитриев в своей работе предложили модель для изучения сцепления нового бетона со старым [1]. Учёные Полтавского института О.О. Довженко, В.В. Погребний, Т.Ю. Качан, А.Р. Скубицкий [2,3] в 2010 - 2011 годах провели экспериментальные исследования клеевого соединения нового бетона со старым на примере образцов Гвоздева и Мерша. Е.П. Гуров из Санкт-Петербурга в своей работе [4] предложил новую конструкцию сборно-монолитных ригелей вписанных в толщу перекрытия (со скрытыми опорными консолями) и как вариант - сборно-монолитный ригель, выступающий за нижнюю плоскость перекрытия (с открытыми опорными консолями). А.С. Семичев в своей работе [8] обосновывает целесообразность применения сборно-монолитных систем для многоэтажных зданий. Белорусские строители впервые в мире разработали и построили девятиэтажные здания с монолитными ригелями из напрягающего бетона и предварительно напряжёнными многопустотными плитами дисков перекрытий с хорошими технико-экономическими показателями. Б.А. Пушкарёв и П.А. Кореньков [10] предложили новую конструкцию сборно-монолитного перекрытия с применением предварительно напряжённых многопустотных панелей исключая применение инвентарной опалубки для бетона замоноличивания.

#### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

Авторы поставили перед собой цель: в магистерской дипломной научно-исследовательской работе А.А. Здоровенко выполнить анализ эффективности строительства сборно-монолитных многоэтажных зданий каркасно-связевой схемы с применением лёгких бетонов в сейсмических районах Крыма, для чего выполнить следующие задачи:

- определить технико-экономические показатели эффективности сборно-монолитного строительства жилых многоэтажных зданий каркасно-связевой схемы с наружным контуром из лёгких бетонных блоков в сейсмических районах Крыма;
- определить технико-экономические показатели эффективности сборно-монолитного строительства жилых зданий каркасно-связевой схемы с наружным контуром из лёгких бетонов и панелями перекрытия из керамзитобетона в сейсмических районах Крыма;
- выполнить сравнение технико-экономических показателей эффективности строительства многоэтажных монолитных жилых зданий каркасно-связевой схемы из тяжёлого бетона и сборно-монолитных с применением лёгких бетонов в сейсмических районах Крыма и дать предложения по применению наиболее эффективного варианта.

#### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Анализ публикаций, статей и патентов, с последующим определением технико-экономических показателей с учётом себестоимости, сроков строительства зданий, стоимости применённых железобетонных конструкций и энергозатратности на их производство.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

Анализ проектов показывает, что при строительстве зданий со сборно-монолитным каркасом, резко снижается номенклатура применяемых конструкций и изделий. Количество необходимых элементов ограничено 8 -10 наименованиями: это могут быть колонны (сечением 0,4х0,4 м высотой на 1 - 2 этажа), плиты пустотного настила (любой длины до 12м), панели шахт грузопассажирских лифтов, диафрагмы жесткости, вентиляционные блоки, лестничные марши. Поэтажно опертые стены (наружные и перегородочные) возводятся из вибропрессованных мелких камней или кирпича.

Теплоизоляция наружных стен осуществляется с помощью пенополистирольных или минерализованных плит, или ячеистобетонных блоков плотностью 400 - 450кг/м<sup>3</sup>. Для ограждения каркаса зданий могут использоваться и панели, но технология их изготовления должна предусмотреть возможность изменения их габаритов, главным образом длины.

Процесс строительства может включать в себя обустройство свайного поля для отдельных блок-секций с заливкой ростверков фундаментов со стаканами, расстановку сетки колонн и их фиксацию с помощью поддерживающей опалубки. Опалубка (инвентарная), доски (шириной 0,6м), как правило, изготавливаются из фанеры и поддерживаются двумя брусками, а также металлическими лесами. Опалубка устанавливается между колоннами и на нее укладываются плиты пустотного настила, изготовленные методом безопалубочного формования. Достоинство последних - любая длина и высокая несущая способность при пониженном вдвое расходе металла (проволоки ВрII диаметром 5 мм).

Между торцами плит отстоящих друг от друга на 400мм вставляется арматурный каркас, который фиксируется проволокой с арматурой колонн и в дальнейшем служит для армирования несущего или связевого ригеля. В проёмы между плитами укладывается бетонная смесь, которая заходит в заглушённые пустоты плит на глубину 100 - 150 мм, образуя шпонки. Шпонки могут быть усилены за счет армирования. Полученный монолитный ригель располагается внутри перекрытия, что обеспечивает гибкость планировочных решений и возможность трансформации внутреннего пространства здания.

В результате многочисленных испытаний установлено, что несущая способность каркаса значительно повышается за счет защемления (распора) нижней зоны плит пустотного настила. Кроме того, при значительном пролете (более 7м) плиты раздвигаются, и между ними вставляется и бетонируется арматурный каркас, что повышает жесткость перекрытия и позволяет возводить здания с шагом колонн до 9х9м.

По данным предприятий освоившим строительство зданий со сборно-монолитным каркасом, последние имеют по сравнению с панельными домами

- удельный расход металла ниже на 32%,
- удельный расход железобетона ниже на 35%,
- стоимость возведения коробки здания ниже на 24%.

Сборно-монолитный каркас здания (сооружения), работающий как рамносвязевая система, воплотил в себе положительные свойства, как полносборного каркаса, так и ряд преимуществ монолитных конструкций. Жесткое сопряжение ригеля с колонной (уменьшение пролетного изгибающего момента за счет перераспределения его на опорный), а также включение в работу сборно-монолитного ригеля примыкающих участков перекрытия (расчетное тавровое сечение) позволило значительно уменьшить расход железобетона на 1 м<sup>2</sup> общей площади здания по сравнению с другими расчетными схемами несущих каркасов. Расход сборного железобетона в сборно-монолитном каркасе составляет 0,1...0,15 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> смонтированного каркаса. Высота этажа ограничений не имеет и зависит только от прочностных характеристик колонн, поэтому применение каркаса возможно для зданий различного назначения: жилых, общественных, производственных, административно-бытовых, а также при строительстве мостов и путепроводов.

Колонны могут быть сечением от 200х200 мм до 400х600 мм и изготавливаются в форме длиной до 24 м. Материал колонн - тяжелый бетон классов В15-В30. Для сопряжения колонн с ригелями, в них в уровне перекрытия предусматриваются участки с открытой арматурой, усиленной арматурными связями. Стыковка колонн осуществляется без сварки – при помощи “штепсельного” стыка и обеспечивается за счет пропуска продольных арматурных стержней одной колонны в тело другой, что позволяет соединять

колонны одного размера сечения с другим. Высота этажа допускается любая. Это обусловлено гибкостью технологии и универсальностью оборудования.

Сборные ригеля могут быть ненапряженные и предварительно-напряженные сечением от 80х300мм и более с пролетом до 15,0м. Расчётным сечением ригеля является тавр, полкой которого служит перекрытие.

Материал ригелей - тяжёлый бетон класса В30, продольное армирование предварительно напрягаемыми канатами 12 К7.



**Рис. 1. Узел сопряжения колонна-ригель**

Сопряжение ригеля с колонной жесткое (рис.1). Здания высотой до 6 этажей включительно не имеют диафрагм жесткости. Все усилия воспринимаются жесткими (рамными) узлами каркаса. Здания высотой более 6 этажей имеют диафрагмы жесткости, которые совместно со сборно-монолитным каркасом воспринимают расчетные усилия.

Замоноличивание узла сопряжения производится бетоном класса В30. Универсальность оборудования позволяет изменять сечение и длину выпускаемых ригелей в соответствии с расчетными данными для различных зданий и нагрузок на перекрытия. Перекрытие состоит из предварительно напряжённых железобетонных плит (несъёмная опалубка) или пустотного настила.

Перекрытие с применением предварительно напряжённых железобетонных плит состоит из плит толщиной 60мм, служащих несъёмной опалубкой и монолитного армированного слоя толщиной 80-140 мм укладываемого сверху. Сцепление монолитного слоя со сборной плитой осуществляется за счёт шероховатой верхней поверхности плиты, выполняемой в заводских условиях путём обнажения крупного заполнителя. Материал плит - тяжёлый бетон класса В35. Продольное армирование предварительно напрягаемой проволокой 5 ВрII.



**Рис. 2. Фрагмент опирания ригелей на колонну**

При бетонировании монолитного слоя плита-опалубка, включая и ригели, устанавливается на металлодеревянный брус с системой инвентарных опор. Жесткость диска перекрытия достигается за счёт укладки арматурных сеток на стыках плит и над ригелями. Монолитный слой перекрытия выполняется из тяжёлого бетона класса В15-В25. Узел соединения “колонна-ригель-плита” является монолитным (рис.2). Каркас собирается без применения сварки.

Конструктивная схема с применением пустотной плиты, которая при шаге колонн до 9м, полностью сохраняет достоинства сборно-монолитного каркаса с применением плиты (несъёмной опалубки) и в настоящее время находит все более частое применение.

Сделанный анализ показывает, что в современной практике в сборно-монолитном строительстве для несущих конструкций применяется в основном тяжёлый бетон. Однако есть все технические возможности применить плиты перекрытия из керамзитобетона. Поэтому значительный интерес представляет собой сравнение технико-экономических показателей эффективности строительства многоэтажных монолитных жилых зданий каркасно-связевой схемы из тяжёлого бетона и сборно-монолитных с применением лёгких бетонов в сейсмических районах Крыма.

Результаты исследования и их анализ доложены на защите дипломной научно-исследовательской работы А.А. Здоровенко в июне 2014 г.

#### **ВЫВОДЫ**

1. Выполнен анализ публикаций по сборно-монолитному способу строительства.
2. Приведены обоснования применения сборно-монолитных конструкций из тяжёлых и лёгких бетонов.
3. Сформулирована цель и составлен план научно-исследовательской магистерской работы Здоровенко А.А. по определению эффективности строительства сборно-монолитных многоэтажных зданий каркасно-связевой схемы с применением лёгких бетонов в сейсмических районах Крыма
4. Исследование данной проблемы позволит определить наилучший вариант применения сборно-монолитного строительства в сейсмических районах Крыма.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гвоздев А.А. Изучение сцепления нового бетона со старым / А.А. Гвоздев, А.П. Васильев, С.А. Дмитриев. – М., Л.: ОНТИ. – 1936. – 55 с.
2. Довженко О.О. Дослідження опору бетону зрізу на зразках Е. Мерша / Довженко О.О., Погрибний В.В., Качан Т.Ю. // Збірник наукових праць (галузеве машиновудування, будівництво). – Полтава: Полтавський національний техн. Ун-т Юрія Кондратюка, Полт. НТУ. – 2010. – Вип. 2(27). – С. 31 – 38.
3. Довженко О.О. Экспериментальные исследования клеевого соединения нового бетона со старым при срезе на примере образцов Гвоздева / О.О. Довженко, В.В. Погрибной, А.В. Скубицкий. // «Бетон и Железобетон в Украине», – 2011. – № 3. – С. 13 – 15.
4. Гуров Е.П. Анализ и предложения по конструктивной надёжности и безопасности сборно-монолитных перекрытий в каркасе серии Б 1. 020.1 – 7 (в системе «АРКОС») / Е.П. Гуров. // «Бетон и железобетон», 2012 – №2. – С. 6-11.
5. Семченков А.С. Регионально-адаптированные сборно-монолитные строительные системы для многоэтажных зданий / А.С. Семченков. // «Бетон и железобетон», 2010. – №3. – С. 2-6.
6. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчёта и конструирования // Учебное пособие для студентов строительных специальностей. Под ред. проф. Т.М. Пецольд и проф. В.В. Тура. – Брест, БГТУ, 2003 – 380 с., с ил.
7. В.Н. Байков, Э.У. Сигалов. Железобетонные конструкции. Общий курс: Учебн. для вузов. – 5-е изд. Перераб. и доп. - М. Стройиздат, 1991. – 767 с.: ил.

8. Никонов Н.Н. Введение в специальность. Восемь лекций о профессии: учеб пособие / Н.Н. Никонов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов. –2005. – 272 с.
9. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций / Н.-и, проект.-конструкт. и технолог. ин-т бетона и железобетона. – М.: Стройиздат. 1991. – 69 с.: ил. – (Справочное пособие к СНиП).
10. Пушкарёв Б.А. Сборно-монолитные железобетонные конструкции. Сферы применения и особенности расчёта / Пушкарёв Б.А., Кореньков П.А. // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2013. – Вып. 46. – С. 24 – 29.
11. Пушкарёв Б.А., Кореньков П.А. Методические указания по расчёту и конструированию сборно-монолитных железобетонных конструкций. – Симферополь, НАПКС. – 2013. – 25 с.
12. Пушкарёв Б.А. Особенности научного подхода к оценке экономической эффективности использования строительных материалов / Пушкарёв Б.А., Кононов В.П. // Экономика и управление. – Симферополь: НАПКС. – 2013. – №2. – С. 100 – 103.

**УДК 69.059.7**

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗБОРКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ АВАРИЙНОГО ЗДАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЛОЧНОГО АВТОПОГРУЗЧИКА С ГИДРОПРИВОДОМ**

**Шаленный В.Т., Рыжак А.Н.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

Работа посвящена совершенствованию технологии и организации работ по разборке и утилизации строительных конструкций на примере аварийного здания в п.г.т. Гурзуф АРК. Для чего было предложено три возможных варианта технологии, произведены расчеты технико-экономических показателей по предложенным вариантам, что и позволило рекомендовать более эффективный из них. В конечном итоге, полученные результаты позволили выбрать в качестве более перспективного, второй из рассмотренных вариантов технологии, а именно алмазную резку пилами, монтируемыми на специальных средствах подмащивания.

**Технология, демонтаж, алмазная резка, экономические показатели**

### **ВВЕДЕНИЕ, АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Достаточно часто здания и сооружения получают такие деформации и разрушения, при которых восстановление становится экономически нецелесообразным и требуется их разборка. С такой задачей столкнулись авторы данной работы, получив задание от и.о. Гурзуфского поселкового головы И. Булашевича (письмо-просьба № 2312/02-28 от 09.2011). Несмотря на большое количество публикаций по данной теме [1, 2], каждый из подобных объектов имеет свои особенности, требующие соответствующих научно-проектных обоснований и разработок. Учитывая возможности подрядной организации, нами была предложена традиционная технология и организация работ по разборке конструкций аварийного здания с использованием отбойных молотков, затем представленная в [3].

Однако последнее десятилетие на строительный рынок Украины пришли алмазные технологии резки железобетонных конструкций, ярким представителем которых есть киевская фирма «Севитол» [4]. В творческом содружестве с ними, мы предложили и запатентовали технологию, где алмазная дисковая пила закрепляется перед резкой не на разрезаемой конструкции, а на поддерживающих эту конструкцию лесах [5]. Это обеспечивает необходимую безопасность производства работ, особенно в условиях разборки аварийно-опасных конструктивов. Однако такая схема не решает вопросы последующего удаления продуктов разборки. Мы предполагали осуществлять это удаление при помощи автомобильного крана (крупные куски), а затем экскаватора (строительный мусор) с погрузкой на автотранспорт.

В Российской Федерации действовал патент американских заявителей, в котором развивается технология разрушения строительных конструкций челюстным гидравлическим оборудованием, смонтированным на стреле экскаватора [5]. Это техническое решение стало прототипом для нашей разработки, предусматривающей установку алмазного оборудования для резки железобетона на исполнительном механизме серийного вилочного автопогрузчика. Таким образом, удастся отказаться от автономной маслостанции, используя аналогичную на базовой машине, а также отпадает необходимость в монтаже специальных поддерживающих конструкций, по крайней мере, хотя бы части из них. Имеется три технически возможных варианта реализации технологического процесса разборки конструкций рассматриваемого аварийного сооружения. Следует сделать выбор между ними на основе технико-экономического сравнения конечных показателей эффективности возможных вариантов.

#### **ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Цель** – повышение эффективности выполнения работ по разборке конструкций на примере аварийного здания в п.г.т. Гурзуф.

#### **Задачи:**

1. Литературно-патентный обзор, изучение состояния конструкций, окружающих зданий и сооружений, а также возможностей подрядной строительной организации;
2. Разработка возможных вариантов проектных решений по технологии и организации работ с учетом возможностей подрядчика, а также прогрессивного отечественного и зарубежного опыта;
3. Техничко-экономическое сравнение предложенных вариантов на основе вариантного проектирования технологий с расчетом конечных показателей и выбором целесообразного.

#### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Как и ставилось задачами работы, проведен анализ возможностей предложенной заказчиком подрядной организации (ООО «Изумбер»), после чего мы приступили к разработке проекта производства работ с формированием указаний по технологии и организации работ, а также технике безопасности и охране окружающей среды.

Далее, на основании анализа литературных и патентных источников, в развитие запроектированной технологии разрушения, сформировались предложения по двум вариантам новой конструкции оборудования для алмазной резки. Его предложено устанавливать на специально оборудованной рабочей площадке с домкратными устройствами (опорные леса) для поддержки отделяемой части железобетонной конструкции, а затем - на исполнительном механизме серийного вилочного автопогрузчика.

Вариантное проектирование и определение технико-экономических показателей осуществлялось на основании действующих в Украине методик сметных расчетов [7 - 10] с учетом изменений, внесенных в последнюю версию АВК [11]. Расчеты конечных

технико-экономических показателей производились в нижеследующей последовательности:

- установление номенклатуры и объемов работ по разборке;
- определение трудоемкости, заработной платы рабочих, машиноемкости и стоимости эксплуатации всех машин и механизмов, задействованных в соответствующих технологических процессах;
- калькуляция себестоимости и трудоемкости всех работ по рассмотренным вариантам технологии.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В соответствии с изложенным методическим планом, было рассмотрено три возможных варианта технологии разборки аварийного здания (рис.1):

1. Традиционное решение – разрушение при помощи отбойных молотков, работающих от передвижной компрессорной станции, крупные куски погружаются автокраном, мелкий мусор – экскаватором или одноковшовым погрузчиком в автосамосвал с последующим вывозом.

2. Разработанное ранее в 2012 г. решение – резка алмазным инструментом с приводом от передвижной маслостанции, крупные куски погружаются автокраном, мелкий мусор – экскаватором или одноковшовым погрузчиком в автосамосвал с последующим вывозом.

3. Предложенное новое решение – резка алмазным инструментом, смонтированном на самоходном вилочном погрузчике с его гидростанцией, отрезанные крупные куски транспортируются этим погрузчиком непосредственно в кузов автосамосвала, а затем, оставшийся мусор грузится при помощи одноковшового погрузчика или экскаватора.

Несмотря на внушительную стоимость маш.-часа эксплуатации вилочного погрузчика, мы предположили уменьшение себестоимости всего комплексного процесса за счет сокращения числа задействованных средств механизации и сроков выполнения работ в предложенном третьем варианте. Такое предположение результатами проектирования не было подтверждено (табл. 1).

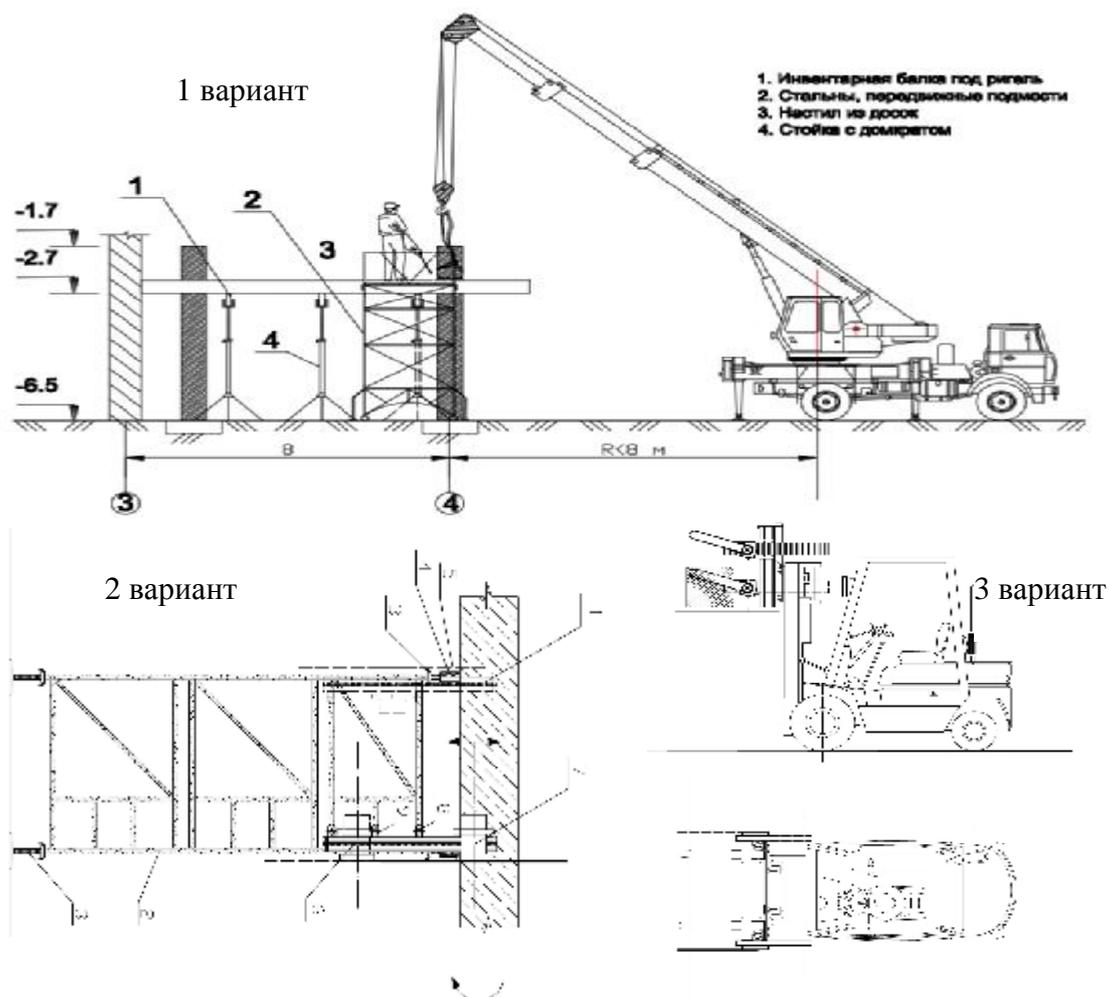
**Таблица 1**

#### Сводка результатов расчета технико-экономических показателей рассмотренных вариантов технологии разборки здания

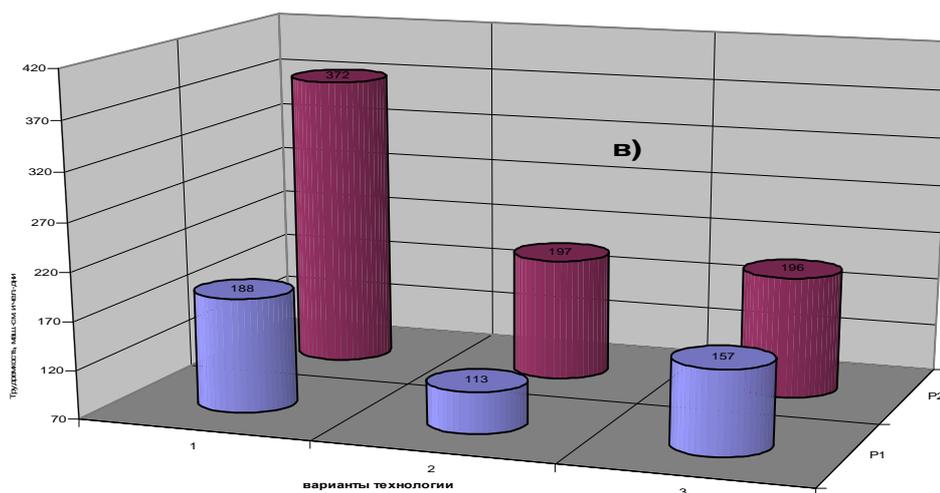
Варианты технологии	Суммарная трудоемкость процесса		Общая машиноемкость разборки		Себестоимость производства работ, грн включая		
	чел.-час.	чел.-дн.	маш.-час.	маш.-смен	Зарплата рабочих	Эксплуатация машин	всего
1	2975,4	372	1500,5	188	57650,01	36927,58	94577,59
2	1575,4	197	902,9	113	29788,89	29224	55012,89
3	1571	196	1258,2	157	29707,89	72639,41	102347,3

Для наглядности, результаты проектирования по вариантам технологии представлены графически на рис. 2. Как видно из этих данных, себестоимость механизированного процесса разборки колеблется от 55013 грн. (2 вариант) до 102347 грн. (третий вариант), т. е увеличивается почти в два раза. Причем такие изменения наблюдаются при двукратном снижении затрат на зарплату рабочих (с 57650 грн. для первого варианта с использованием отбойных молотков почти до 30 тыс. для прогрессивных алмазных технологий).

И наоборот, для этих технологий возрастают затраты на эксплуатацию машин. Причиной существенного уменьшения затрат на заработную плату рабочих является такое же примерно сокращение трудоемкости (с 372 человеко-дней в первом варианте до 197 во втором и 196 в третьем, т.е. примерно на 47%). При этом время использования машин и механизмов на стройплощадке сначала уменьшается со 188 до 113 машино-смен от первого ко второму варианту технологии, а затем далее существенно возрастает – со 113 (2 вариант) до 157 машино-смен (3 вариант).



**Рис. 1. Технологические схемы, поясняющие рассмотренные возможные варианты механизации работ по разровке железобетонных конструкций перекрытия аварийного здания**



**Рис. 2. Сравнительные технико-экономические показатели рассмотренных вариантов технологии разровки аварийного сооружения: а) - общая себестоимость по рассмотренным статьям; б) – ее составляющие (зарплата рабочих и стоимость эксплуатации машин и механизмов; в) трудоемкость в машино-сменах (на переднем плане) и человеко-днях (задний план)**

## Выводы

В конечном итоге, полученные результаты позволяют выбрать в качестве более перспективного, второй из рассмотренных вариантов технологии, а именно алмазную резку пилами, монтируемыми на специальных средствах подмащивания, а не на автопогрузчике. Последний третий вариант технологии оказался более длительным по применению комплекта машин, хотя и обеспечивает аналогичную второму варианту экономию затрат непроизводительного и небезопасного ручного труда. Однако, учитывая возможности предложенной заказчиком работ подрядной организации, для дальнейшей детальной разработки и применения была принята и реализована традиционная технология с использованием отбойных молотков для разрушения железобетонных конструкций аварийного здания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колосков В.Н., Олейник П.П., Тихонов А.Ф. Разборка жилых зданий и переработка их конструкций и материалов для повторного использования. – М.: Изд-тво АСВ, 2004. –200с.
2. Охорона праці, технічна та пожежна безпека будівництва і реконструкції об'єктів: Навч. посібник /О. М. Лівінський, А. Д. Єсипенко, В. Т. Шаленний, В. С. Дорофєєв, В. І. Москаленко, В. О. Гридякін, А. А. Ковальов, Т. В. Самусь, Г. М. Ковальов, В. М. Гродський. — К.: "МП Леся", 2012. — 440с.
3. Троян А. В. Совершенствование технологии и организации работ по разборке и утилизации строительных конструкций на примере аварийного здания виноподвала в пгт. Гурзуф АРК /А. В. Троян, В. Т. Шаленный //Актуальные проблемы архитектуры, строительства и энергосбережения. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2012. — Вып.4. — С.427—432.
4. Севитол, алмазные технологии в строительстве /Режим доступа: [http://sevitool.com.ua/pages/view/almaznaya\\_rezka\\_demontazh\\_betona](http://sevitool.com.ua/pages/view/almaznaya_rezka_demontazh_betona).
5. Пат. №75122 Україна, МПК E04G 23/100. Спосіб розрізання залізобетону дисковою алмазною пилкою /В. Т. Шаленний, О. В. Троян, А. А. Павлюк, К. Б. Дікарев. - № u201204719; заявл. 17.04.2012; опубл. 26.11.2012; Бюл. №22. - 4с.
6. Пат. №2036751 РФ, МПК B23D17/06. Мощный разрушающий инструмент /Рой Е. Лябунти, Кеннет Р. Лябунти. - №5001575/08; заявл. 14.08.1991; опубл. 09.06.1995.
7. ДБН Д.2.7–2000. Ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин та механізмів /Держбуд України. – Київ, 2001.–239с.
8. ДБН Д.11–2–99. Указания по применению ресурсных элементных сметных норм на строительные работы /Госстрой Украины – Киев, 2000.– 11с.
9. ДБН Д.2.2-46-99. Ресурсные элементные сметные нормы на строительные работы. Сборник 46. Работы при реконструкции зданий и сооружений Киев: Индпроект. - 2000. - 45с.
- 10.ДБН Д.2.4-20-2000. Ресурсные элементные сметные нормы на ремонтно-строительные работы. Сборник 20. Прочие ремонтно-строительные работы. - Киев: Индпроект. - 2000. - 23с.
- 11.Ценообразование в строительстве: сб. офиц. док. и разъясн. /глав. ред. И.С. Вовкодав. – К.: Минстрой Украины, 2011. -№6.– 176с.

## РАЗДЕЛ 5. ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 69.059.22:66.013

### ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

**Стоянов В.В.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

Дается оценка угрозы жизнедеятельности населения, проживающего в зонах возможного химического заражения. Предложена методика оценки территориального риска проживания населения в зонах возможного химического заражения при аварии на химически опасном объекте ВАТ "Бром" г. Красноперекопск, в результате природных чрезвычайных ситуаций и техногенных аварий. Проведена оценка риска возникновения аварии приводящей к выбросу хлора в окружающую среду, рассчитана площадь поражения территории Красноперекопского района и оценены потери населения в зоне химического заражения.

**химическая авария, риск-ориентированный подход, чрезвычайная ситуация, Крым, хлор, химически опасный объект**

#### ВВЕДЕНИЕ

Среди региональных источников опасности, представляющих наибольшую угрозу на территории Крыма, выделяются химически опасные объекты.

На химически опасных объектах полуострова вырабатываются, используются, хранятся или перевозятся сильнодействующие отравляющие вещества [1].

К этим объектам относятся: предприятия нефтяной и химической промышленности, агропромышленные и торговые предприятия с холодильными установками, на которых используются в качестве хладагента аммиак, водонапорные станции и очистные сооружения, где применяется хлор, склады с ядохимикатами для дезинсекции и дератизации запасов зерна и продуктов его переработки, транспортные средства, включающие контейнеры и наливные вагоны, автоцистерны, морские танкеры, привозящие опасные химические вещества.

При авариях с выбросом или разливом опасных химических веществ основным поражающим фактором является заражение приземного слоя атмосферы газами или парами, что приводит к возникновению масштабных зон химического заражения. В зависимости от концентрации опасных химических веществ различают зоны, в границах которых возможна массовая гибель людей и зоны, в которых люди временно утрачивают работоспособность. В данных зонах возможно также заражение водных источников, продуктов питания, зданий и сооружений, технологического оборудования.

Опасные воздействия химических аварий на жизнедеятельность населения, как и причины их возникновения, имеют случайный характер и поэтому для определения вероятности последствий от этих аварий все чаще используется методология, основанная на риск-ориентированном подходе [2,3].

#### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Для оценки последствий химических аварий используется методика, разработанная НТЦ - «Промышленная безопасность» (Методика «ТОКСИ») и методика [11] предназначенные для оценки масштабов поражения территории при авариях с выбросом опасных химических веществ в атмосферу.

Применяемая в этих и других, широко используемых отраслевых методиках, методология оценки вреда, наносимого экологии территорий основана на экспериментальном и теоретическом определении концентрации вредных веществ и

сравнения количественного наличия их в среде с предельно-допустимыми концентрациями (ПДК), установленными документацией.

Использование данной методологии при оценке экологической опасности имеет ряд существенных недостатков:

1. необходимость натуральных замеров для определения концентрации химически опасных веществ, содержащихся в выбросах;
2. сложность своевременной фиксации нештатных ситуаций и аварийных выбросов на промышленных объектах, т.к. они носят случайный характер;
3. отсутствие единого критерия, позволяющего одновременно оценивать степень опасности при заражении атмосферного воздуха для работающего персонала, населения и окружающей природной среды.

Основываясь на требования [5,12,13], в данной работе предлагается проводить оценку опасности с использованием обобщенного критерия риска, учитывающего вероятность химического заражения, площадь территории и количество населения, оказавшегося опасной зоне.

### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Целью данной работы является разработка методики расчета показателей экологического риска проявления негативных воздействий на население при заражении атмосферного воздуха опасными химическими веществами.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ существующих методов оценки экологической опасности при заражении атмосферного воздуха вредными выбросами;
- предложены зависимости для определения значений критерий экологического риска, учитывающего вероятность загрязнения, масштабы загрязнения и количество пострадавших людей, проживающих на данной территории.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

Упреждающее реагирование на опасность для населения при авариях на химически опасных объектах требует адекватного научно- методологического инструментария для оценки риска. Таким инструментарием может служить современные геоинформационные технологии моделирования и отображения процессов поражения населения близлежащих территорий при различных сценариях их протекания. Применение этих технологий базируется на математических моделях оценивания рисков. Главную трудность для математического моделирования рисков химических аварий в природно- техногенной среде составляет неопределенность пространственно- временных объемно- мощностных параметров процессов заражения местности. В связи с этим, основу алгоритма решения задачи была положена известная форматизированная зависимость между риском жизнедеятельности проживающего населения с одной стороны, и степенью поражаемости населения на данной территории с другой [3-9].

Таким образом решение данной задачи сводится к определению показателей, входящих в зависимость вида:

$$R(D) = P(D) \cdot V(D) \cdot K(D) \quad (1)$$

где:  $P(D)$ – вероятности возникновения землетрясения, химической аварии, затопления на рассматриваемой территории (случаев/год);

$V(D)$ – уязвимость территории от возможного воздействия землетрясения, химической аварии, затопления (части единицы);

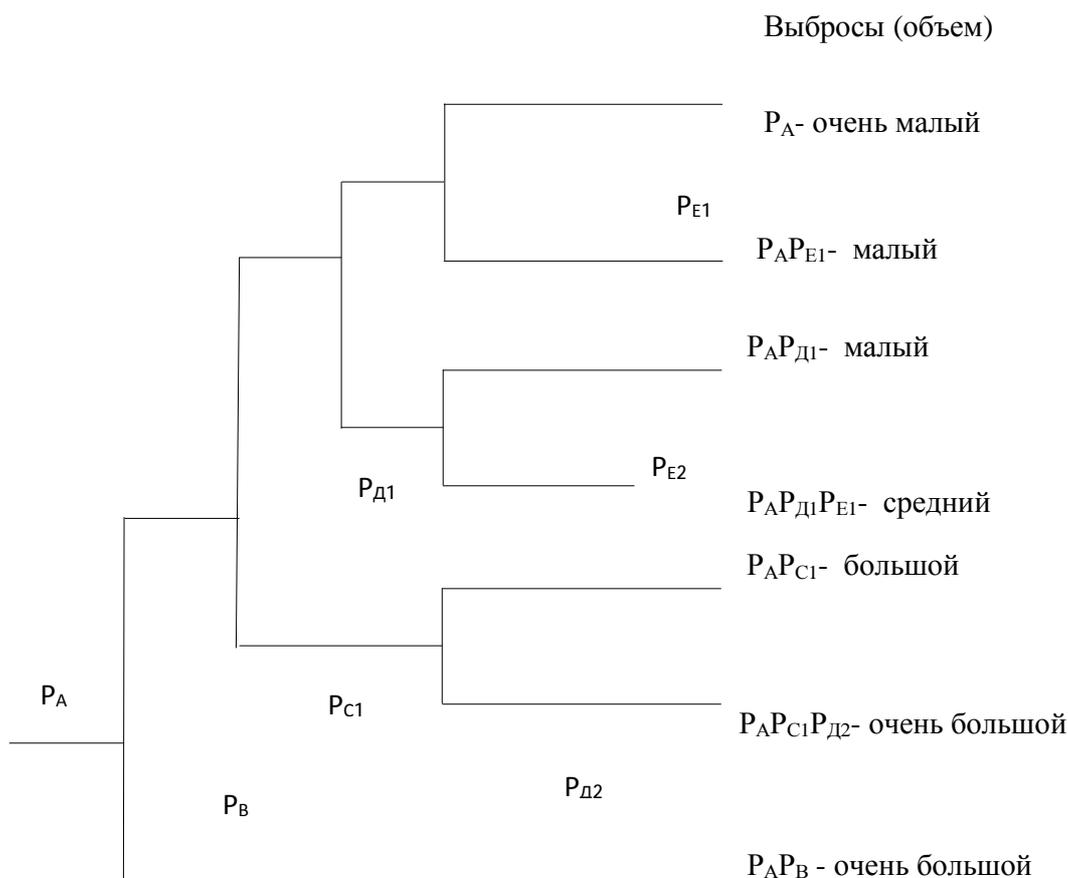
$K(D)$ – пространственная уязвимость населения в условиях землетрясения, химической аварии и наводнений (части единицы);

Практическая реализация алгоритма проведена на конкретном примере возможной химической аварии на Красноперекопском ВАТ “Бром”. Для моделирования в которой, использовались следующие исходные параметры: г. Красноперекопск, предприятие ВАТ ”Бром”, на территории завода находятся емкости со хлором сжиженным под давлением,

объемом 300т, при температуре окружающей среды 30<sup>0</sup>С. Емкости расположены на ровной бетонной поверхности, размер шероховатости 0,003, ландшафт степь. Хлор находится в равновесии со своими парами (8 атм). Количество хлора в газовой фазе в емкости незначительно. Весь находящийся в емкости хлор выбрасывается в окружающую среду при полном разрушении емкостей. Метеоусловия: скорости ветра от 1м/с. Степень вертикальной устойчивости атмосферы- инверсия (изотермия). Расчет химической обстановки при наихудшем сценарии- выброс (розлив) 300 т хлора.

На первом этапе исследования риска путем рассмотрения различных сценариев для определения Р(Д), было выявлено, что критической подсистемой, отказ которой может привести к выбросу ОХВ в окружающую среду, является система охлаждения емкостей с низкокипящими жидкостями. Поэтому исследование риска включало просмотр возможных последовательностей событий, которые наступают вследствие разрыва трубопроводов, обеспечивающих подачу охлаждающей жидкости к резервуарам со сжиженным хлором и назад к холодильникам в случае гидродинамических аварий или землетрясений. Согласно проведенным расчётам с использованием “дерева отказов” (рис.1) вероятность Р(Д)= 5,7х10<sup>-3</sup> в год.

А	В	С	Д	Е
Разрыв трубопровода	Система электропитания	Аварийная система охлаждения	Система локализации аварии	Целостность емкости



**Рис.1. Дерево событий, связанных с разрывом трубопровода от воздействия ударной волны или землетрясения**

Вторым этапом являлось определения параметров облака хлора, образующегося в результате возможной аварии, проведенное по следующему алгоритму:

Определение количества ОХВ, перешедшего в первичное облако:

$$Q_{x1} = Q_x^g + Q_x^{ж} + Q_x^и + Q^f, \quad (2)$$

где:  $Q_x^g, Q_x^{ж}, Q_x^и, Q^f$  - массы опасного химического вещества (ОХВ), переходящих в первичное облако в виде газа при мгновенном вскипании перегретого ОХВ, в виде аэрозоля, в виде газа при кипении, пролива газообразного ОХВ в оборудовании, кг.

$$Q_x^g = Q \left[ 1 - \exp\left(\frac{C_p(T_3 - T_{кип}) + |T_3 - T_{кип}|}{2\Delta H_{кип}}\right) \right] = 5,771 \times 10^4, \text{ кг}, \quad (3)$$

где:

$C_p$  - теплоемкость хлора 4,6 КДж/кг °С;

$T_3$  - температура окружающей среды, °С;

$T_{кип}$  - температура кипения хлора -34,1 °С;

$\Delta H_{кип}$  - теплота испарения хлора 1360 КДж/кг;

$Q$  - количество ОХВ кг;

Масса хлора в первичном облаке в виде аэрозоля, определялась по формуле:

$$Q_x^{ж} = \min(Q_x^g, Q - Q_x^g), \quad (4)$$

Масса хлора в первичном облаке в результате кипения от соприкосновения с поверхностью пролива определялась по формуле:

$$Q_x^и = \min\left(\frac{T_{п} - T_{кип} + |T_{п} - T_{кип}|}{\Delta H} \sqrt{\frac{\lambda_{п} C_{п} \rho_{п}}{\pi}} \frac{F_{конт}^2}{F} \sqrt{t_{кип}}, Q - Q_x^g - Q_x^{ж}\right), \quad (5)$$

где:  $T_{п}$  - температура поверхности пролива, 30°С;

$\lambda_{п}, C_{п}, \rho_{п}$  - теплопроводность, теплоемкость, плотность поверхности пролива,  $\lambda_{п} = 1,42$  Вт/м/с,  $C_{п} = 770$  Дж/кг°С,  $\rho_{п} = 2220$  кг/м<sup>3</sup>;

$F$  - площадь пролива хлора, м<sup>2</sup>;

$F_{конт}$  - площадь контакта с твердой поверхностью обволоки, м<sup>2</sup>;

При землетрясении и паводках обваловка может быть разрушена, в следствии чего розлив произойдет открыто на площадь  $F$ .

$$F_{конт} = F = \frac{V}{h} = 3,863 * 10^3 \text{ м}^2, \quad (6)$$

$V$  - объем вещества в жидкой фазе м<sup>3</sup>;

$h$  - толщина пролива 0,05м;

$t_{кип}$  - время, в течении которого хлор поступает в первичное облако из-за интенсивности кипения ОХВ за счет подвода теплоты от бетона, ч;

$$\sqrt{t_{кип}} = \left\{ \frac{T_{п} - T_{кип} + |T_{п} - T_{кип}|}{2\Delta H} \sqrt{\frac{\lambda_{п} C_{п} \rho_{п}}{\pi}} \frac{1}{\sqrt{\mu} 10^{-6} (\sqrt{5.93 \times 4.1U}) P_{н} F_{конт}}, \sqrt{\frac{2}{U}} \right\}, \quad (7)$$

где:

$\mu$  - молекулярная масса хлора 70,1 г/моль;

$U$  - скорость ветра м/с;

$P_{н}$  - давление насыщенного пара хлора при температуре воздуха, мм.рт.ст.

$$P_n = 760 \exp \left| \Delta H_{\mu} \frac{1}{T_{\text{кип}} + 273,15} - \frac{1}{T_{\text{кип}} + 273,15} \right|, \quad (8)$$

где:

$R$  – универсальная газовая постоянная 8,314 Дж/моль К;

Масса хлора, в первичном облаке, от его количества в оборудовании, вычислялась по формуле:

$$Q^F = 0,001 \alpha \frac{\mu}{R} \frac{V_x P_x}{(T_3 + 273,15)}, \quad (9)$$

где:

$\alpha$  – объемная доля оборудования, заполненная газовой фазой 0,1;

$V_x$  – объем оборудования 193 м<sup>3</sup>;

$P_x$  – давление в емкости, 8 ·  $P_0$ ;

Проведя расчеты по формулам (3.2-3.8) получим значение количества ОХВ в первичном облаке на ВАТ “Бром”  $Q_{x1} = 1,1555 \times 10^5$  кг.

Количество хлора, перешедшего во вторичное облако:

$$Q_{x2} = F_{\text{п}} \times q_x \quad (10)$$

Для определения массы хлора во вторичном облаке, его плотность рассчитывалась по формуле:

$$\rho_{x2} = \rho_k = 0,001 \frac{\mu}{R} \frac{P_0}{(T_3 + 273,15)}, \quad (11)$$

где:

$q_x$  – расход хлора при испарении из емкости кг/с;

$q_{x2}$  – расход хлора при испарении из оборудования емкости кг/с;

$\rho_{x2}$  – плотность газообразного хлора кг/м<sup>3</sup>;

Тогда:

$$q_x = (\sqrt{5,83 \times 4,1U}) \times 10^{-6} P_n \sqrt{\mu} = 3,528 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (12)$$

Масса хлора при принятых начальных условиях:  
 $Q_{x2} = F_{\text{п}} \times q_x = 1,363 \times 10^7$  м<sup>3</sup>

Определение радиуса первичного облака хлора.

$$R_1 = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{Q_{x1}}{\rho_x B}} = 48,7 \text{ м}, \quad (13)$$

где:

$\rho_x B$  – плотность хлора в воздухе в зависимости от температуры окружающей среды, определяется зависимостью вида (14).

$$\rho_x B = \left| \begin{array}{l} \left( \rho_{x2} \times \frac{Q_{x1}}{Q_x^F + Q_x^H + Q^F} \right) \text{ если } T_3 > T_k \text{ или } T_n > T_k \\ \left[ 0,001 \frac{\mu}{R} \frac{P_x}{(T_3 + 273,15)} \left( \frac{P_0}{P_x} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \right] \text{ если } T_3 < T_k \end{array} \right|, \quad (14)$$

где:

$P_0$  — атмосферное давление, Па;

$\gamma$  — коэффициент 1,3 Па;

Определение радиуса вторичного облака хлора.

$$R_2 = 0.5\sqrt{F_{\text{п}}} = 31 \text{ м} \quad (15)$$

Время испарения хлора из пролива.

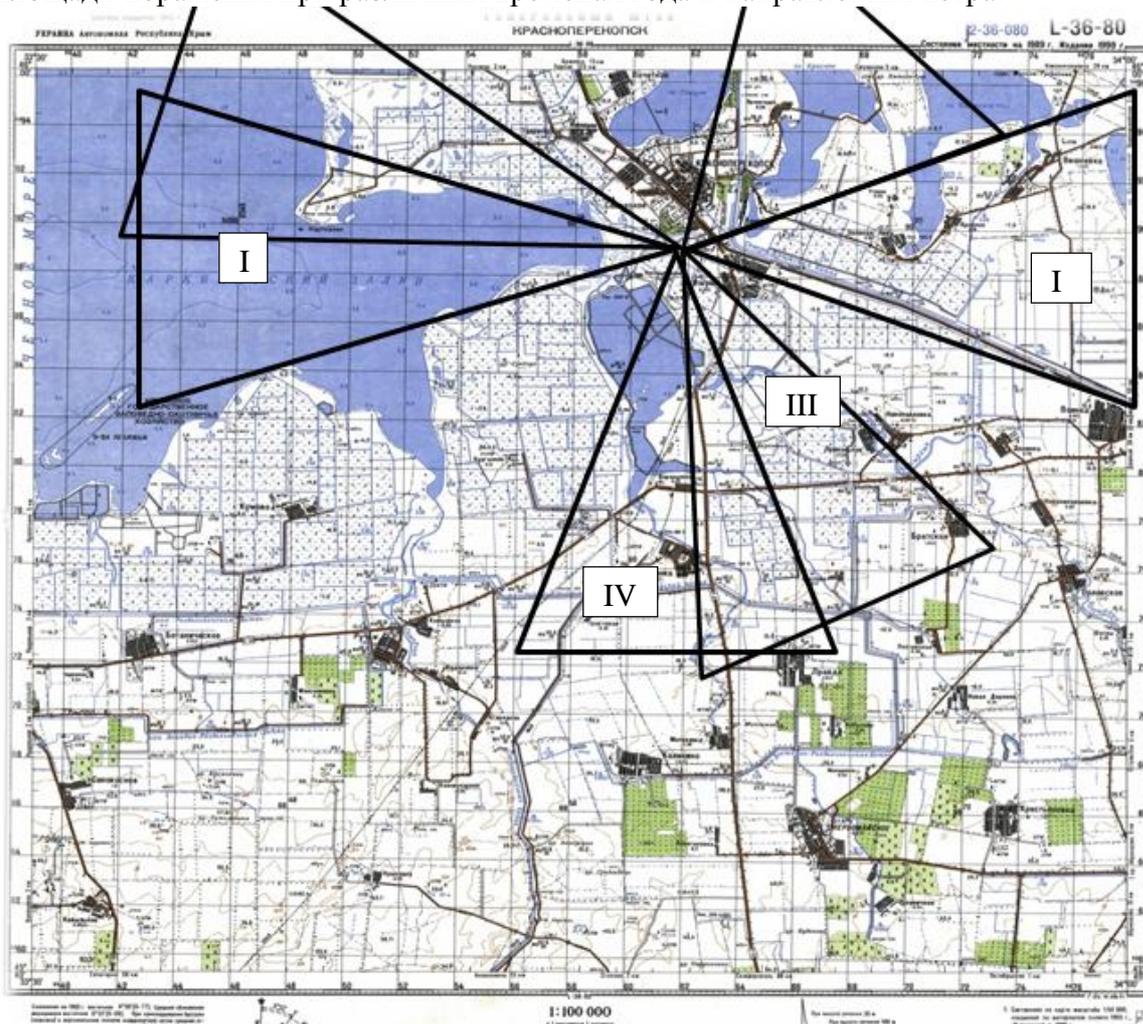
$$t_{\text{х2}} = \frac{(Q - Q_{\text{х1}})}{Q_{\text{х2}}} = 0,014 \text{ ч} \quad (16)$$

Третьим этапом алгоритма является определение площади заражения и времени поражающего действия ОХВ.

Оценивание площади заражения окружающей среды и близлежащих населенных пунктов, проводилось аналитическим методом с использованием карты Красноперекопского района.

На карте (рис.2) цифрами (I) и (II) обозначены зоны заражения территорий при изотермии в летний и зимний периоды года (скорость ветра 4 и более м/с). Цифрами (III) и (IV), обозначены зоны заражения при инверсии в летний и зимний периоды года (скорость ветра до 4 м/с).

Нанесенные зоны химического заражения представляют собой прогнозируемые площади поражения при различных временах года и направлениях ветра.



**Рис.2. Наиболее вероятная глубина зоны поражения облаком хлора в Красноперекопском районе для зимнего и летнего периодов года при аварии на ВАТ “Бром”**

Обобщенные данные по результатам расчета характеристик площадей заражения хлором представлены в табл.1.

Как показано в табл.1, наибольшие площади заражения будут при скоростях ветра от 4 м/с при инверсии и изотермии. Так как площадь Красноперекопского района составляет 1231 км<sup>2</sup>, зная среднюю площадь заражения территории хлором, определим параметр V(D), характеризующий химическую уязвимость территории при химической аварии на Красноперекопском заводе ВАТ “Бром”:

$$V(D) = \frac{S_{пор}}{S_{общ}} = 0,1 \quad (17)$$

где:

$S_{общ}$  — общая площадь территории, км<sup>2</sup>;

$S_{пор}$  — поражаемая площадь территории, км<sup>2</sup>;

**Таблица 1**

**Параметры зоны химического заражения хлором при аварии на ВАТ “Бром”**

Степень вертикальной устойчивости атмосферы	Период года					
	Лето			Зима		
	Глубина, км	Площадь поражения, км <sup>2</sup>	Время поражающего действия, ч	Глубина, км	Площадь поражения, км <sup>2</sup>	Время поражающего действия, ч
Инверсия (4 м/с)	25	92	20	21	103	20
Конвекция (4 м/с)	3,4	3,41	12	2,85	33	20
Изотермия (15 м/с)	13,4	167	7	26,5	137	7

Четвертым этапом алгоритма прогнозирования химической обстановки является определение количества населения, попадающего в зону химического заражения. Использование рис.1 дает возможность оценить количество населённых пунктов и жителей находящихся в зоне химического заражения.

Возможные потери людей [10] в зоне заражения хлором при аварии на ВАТ “Бром” представлены в табл.2.

**Таблица 2**

**Возможные потери людей в зоне заражения хлором при аварии на ВАТ “Бром” г. Красноперекопск**

Населенный пункт	Кол-во населения, чел.	Время подхода облака, ч	Возможные потери людей, чел.	Населенный пункт	Кол-во населения, чел.	Время подхода облака, ч	Возможные потери людей, чел.
Инверсия				Изотермия			
Ишунь	2400	0,1	3690	Зеленая Нива	742	0,1	1945
Воронцовка	311	0,26		Крепкое	384	0,1	
Новопавловка	2024	0,2		Вишневка	1316	0,1	
Привольное	538	0,2		Уткино	78	0,1	
				Танковое	258	0,1	

Согласно табл.2, вероятность гибели людей в Красноперекопском районе K(D):

$$K(D) = \frac{N_{пог}}{N_{общ}} = 0,65, \quad (18)$$

где:  $N_{общ}$  — количество населения в Красноперекопском районе, чел.;

$N_{пог}$  — возможные потери населения, чел.;

Согласно проведенным расчетам по формуле (1) и полученным результатам можно определить территориальный риск проживания населения в Красноперекопском районе:

$$R_d = 5,7 \times 10^{-3} \cdot 0,1 \cdot 0,65 = 3,7 \times 10^{-4} .$$

#### Выводы

1. Рассчитанное значение риска выше допустимого уровня, что требует принятия административных, технических и других решений, направленных на его снижение.

2. Предложенный алгоритм оценки опасности может быть использован для оценки угрозы жизнедеятельности населения, проживающего в зонах возможного химического заражения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт риска возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера АР Крым в 2011г., МЧС Украины в АР Крым, г. Симферополь 2011г.,- 380с.
2. ГОСТ Р 27.310. -93. Анализ видов, последствий и критичности отказов. основные положения. М.: Издательство стандартов. 1993.
3. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. М.: Издательство стандартов.1994г.
4. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф и стихийных бедствий. КН.1 и 2. М.: МЧС России.1994.
5. Стоецкий В.Ф., Драшников Л.В., Жартовский В.М. Управление техногенной безопасностью объектов промышленной опасности. - Тернополь. Издательство Астон, 2006. - 424с.
6. Бакулина М.В., Стоянов В.У., Оленич С.А. Методика оценки обстановки, моделирования ситуации и выработки решений по спасению людей в условиях ЧС. Збірник наукових праць НАН України. Інститут проблемного моделювання в енергетиці. Вип. №29, 2005. – С. 115-118.
7. Методики оценки последствий химических аварий на опасных производственных объектах. Сборник документов. Изд. 2-е испр. и доп. М.: Науч.-техн. центр по безопасности в промышленности и Ростехнадзора России, 2002. - 2006 с.
8. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. РД 52.04.253-90.М.: Госгидромет СССР, 1991. - 23с.
9. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. М: Ростехнадзор России. НТЦ «Промышленная безопасность», 1996. - 22с.
- 10.Махутов Н.А., Костин А.А., Костин А.И. Нормирование степени риска поражения людей при авариях на ХОО // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып. 2, 1998. - 36-49с.
- 11.Постановление КМ от 15.02.2002 № 175 «Об утверждении Методики оценки убытков от последствий чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера». КМ Украины. //Режим доступа: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/КР020175.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/КР020175.html).
- 12.Декларирование промышленной безопасности опасных производственных объектов. Сборник документов. Вып.3. Серия 27. Декларирование промышленной безопасности и оценка риска. М: Науч.-техн. центр по безопасности в промышленности Ростехнадзора России, 2003. - 296с.
- 13.Об опыте декларирования промышленной безопасности и развития методов оценки риска опасных производственных объектов. Материалы семинара Госгортехнадзора России, М.: Научно-техн. центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России. 2002. -128с.

## РАЗДЕЛ 6.

# ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ, ГИДРОМЕЛИОРАЦИЯ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 620.92: 536.242

## СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАГРЕВА ПОВЕРХНОСТИ ФОТОЭЛЕМЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО РАБОТЫ

**Асанов М.М., Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

Выполнено моделирование изменения температуры поверхности фотоэлемента на протяжении года с использованием статистических данных для города Симферополя, находящегося на 44° 57' с.ш. На основании результатов моделирования произведен расчет площади дополнительной поверхности, предназначенной для компенсации нагрева фотоэлектрического преобразователя, что будет способствовать повышению эффективности его работы. Результаты работы могут быть использованы для оптимизации размеров фотоэлементов при проектировании и изготовлении.

### **Нагрев фотоэлемента, эффективность работы фотоэлемента, оптимизация размеров фотоэлемента**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Солнечное излучение, попадая на фотоэлемент, преобразуется не только в электрическую, но и в тепловую энергию, нагревая его поверхность.

Известно ряд работ по исследованию влияния температуры поверхности фотоэлемента на эффективность его работы [1 – 4]. В них, в частности, отмечено, что только 6 – 20 % падающего на фотоэлемент солнечного излучения используется для получения электричества. Остальная энергия, в большей степени, идет на нагрев фотоэлемента [3].

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Коэффициент полезного действия преобразования солнечной энергии для элементов на основе кремния, являющегося в настоящее время одним из основных материалов, используемых при изготовлении солнечных батарей, достигает максимального значения при температурах – 150 ÷ – 100 °С и составляет около 17 %. При повышении температуры он уменьшается и при температуре 50 °С падает до 9 % [1]. Скорость падения КПД при температуре, близкой к 25 °С, составляет 0,05 % / °С. При повышении температуры, максимальное значение КПД фотоэлектрических элементов на основе GaAs отвечает более высоким температурам (от – 100 до – 50 °С), а при температуре вблизи 25 °С КПД снижается со скоростью – 0,033% / °С [1].

Отдельно можно отметить разнообразные методы и устройства, направленные на усиление (концентрирование) солнечного излучения, падающего на единицу площади фотоэлемента [5 – 8]. Наряду с повышением эффективности преобразования солнечной энергии фотоэлементом происходит значительное увеличение температуры его поверхности, что, в свою очередь, негативно сказывается на его работе.

#### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

Целью данной работы является уменьшение влияния температуры фотоэлемента на эффективность преобразования солнечной энергии посредством добавления дополнительной площади, используемой для охлаждения его поверхности.

#### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Известно выражение для расчета полезной выходной мощности солнечного коллектора [5]:

$$Q = A[G_T - U_L(T_p - T_a)] \quad (1)$$

где  $A$  – площадь поглощающего элемента коллектора (абсорбера), м<sup>2</sup>;

$G_T$  – солнечное излучение, падающее на единицу площади поглощающего элемента коллектора (абсорбера), Вт/м<sup>2</sup>;

$U_L$  – коэффициент потерь тепла вследствие конвекции, излучения и кондукции, Вт/м<sup>2</sup> °К;

$T_p$  – температура поглощающего элемента коллектора (абсорбера), °К;

$T_a$  – температура окружающей среды, °К.

Авторы предлагают использовать выражение (1) для расчета площади дополнительной поверхности, необходимой для охлаждения фотоэлектрических преобразователей.

При полной компенсации нагрева фотоэлемента, выделяемая им теплота  $Q=0$ . В этом случае выражение (1) можно записать в виде:

$$AG_T = (A + A')U_L(T_p - T_a); \quad (2)$$

где  $A$  – здесь, площадь фотоэлемента, м<sup>2</sup>;

$A'$  – площадь дополнительной поверхности, необходимой для компенсации нагрева фотоэлемента, м<sup>2</sup>;

$T_p$  – здесь, температура фотоэлемента, °К.

Левая часть выражения (2) характеризует степень нагрева фотоэлемента под действием солнечного излучения. Правая часть дает информацию о потере тепла фотоэлементом и дополнительной поверхностью, т.е. их охлаждении, за счет конвекции, излучения и кондукции.

Из (2) получим выражение для нахождения площади поверхности  $A'$ , необходимой для компенсации нагрева фотоэлемента:

$$A' = \frac{AG_T}{U_L(T_p - T_a)} - A. \quad (3)$$

Для определения температуры фотоэлемента  $T_p$  использовались математические модели, представленные в [9]. Моделирование проводилось на основе температурных моделей Росса (1976 г.), Шотта (1985), Серванта (1985), Ласнье (1990) и Чейни (2007 г.), имеющих вид соответственно:

$$T_p = T_a + kG_T;$$

$$T_p = T_a + 0,028G_T - 1;$$

$$T_p = T_a + \alpha G_T (1 + \beta T_a)(1 - \gamma V_w); \quad (4)$$

$$T_p = 30,006 + 0,0175(G_T - 300) + 1,14(T_a - 25);$$

$$T_p = 0,943T_a + 0,028G_T - 1,528V_w + 4,3,$$

где  $k=0,02 - 0,04$  °К м<sup>2</sup>/Вт;

$\alpha=0,0138$ ;

$\beta=0,031$ ;

$\gamma=0,042$ ;

$V_w$  – скорость ветра, м/с.

Данные о величине солнечного излучения  $G_T$ , падающего на единицу площади фотоэлемента, температуре окружающей среды  $T_a$  и скорости ветра  $V_w$  взяты из [10] для города Симферополя, находящегося на 44° 57' с.ш.

Для фотоэлемента с однослойным защитным покрытием выражение для коэффициента потерь тепла имеет вид [5]:

$$U_L = \left[ \frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \right]^{-1}, \quad (5)$$

где  $h_{c,p-c}$  – коэффициент теплообмена конвекцией между фотоэлементом и защитным покрытием, Вт/м<sup>2</sup>°К;

$h_{r,p-c}$  – коэффициент теплообмена излучением между фотоэлементом и защитным покрытием, Вт/м<sup>2</sup>°К;

$h_w$  – коэффициент теплообмена конвекцией между защитным покрытием и атмосферой под действием ветра, Вт/м<sup>2</sup>°К;

$h_{r,c-a}$  – коэффициент теплообмена излучением между защитным покрытием и атмосферой, Вт/м<sup>2</sup>°К.

Выражения для коэффициентов теплообмена, входящих в (5) имеют вид соответственно [5]:

$$h_{c,p-c} = \frac{Nu \cdot k}{L};$$

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1};$$

$$h_w = 2,8 + 3,0V_w;$$

$$h_{r,c-a} = \varepsilon_c \sigma(T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a),$$

где  $Nu$  – число Нуссельта;

$k$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м°К;

$L$  – расстояние между фотоэлементом и защитным покрытием, м;

$\sigma$  – коэффициент Стефана-Больцмана;

$T_c$  – температура защитного покрытия, °К;

$\varepsilon_p, \varepsilon_c$  – степень черноты фотоэлемента и защитного покрытия соответственно.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Результаты моделирования представлены на рис. 1 – 3.

Величина солнечного излучения  $G_T$  принята как сумма прямого и рассеянного излучения, падающего на единицу площади фотоэлемента в ясную погоду из расчета того, что фотоэлемент расположен горизонтально относительно поверхности земли.

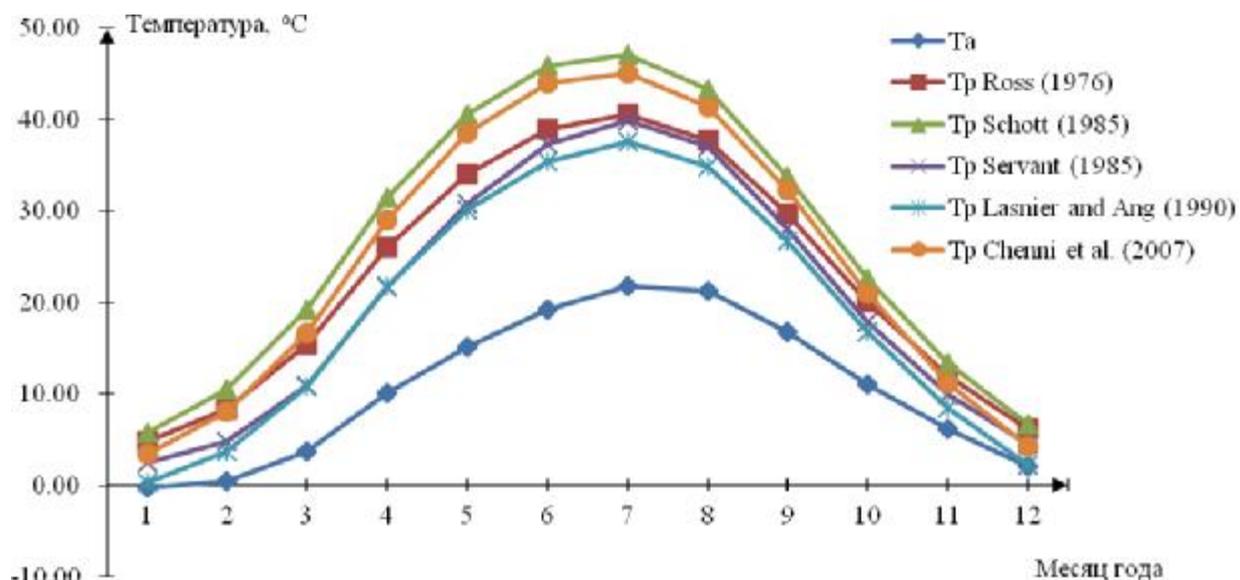
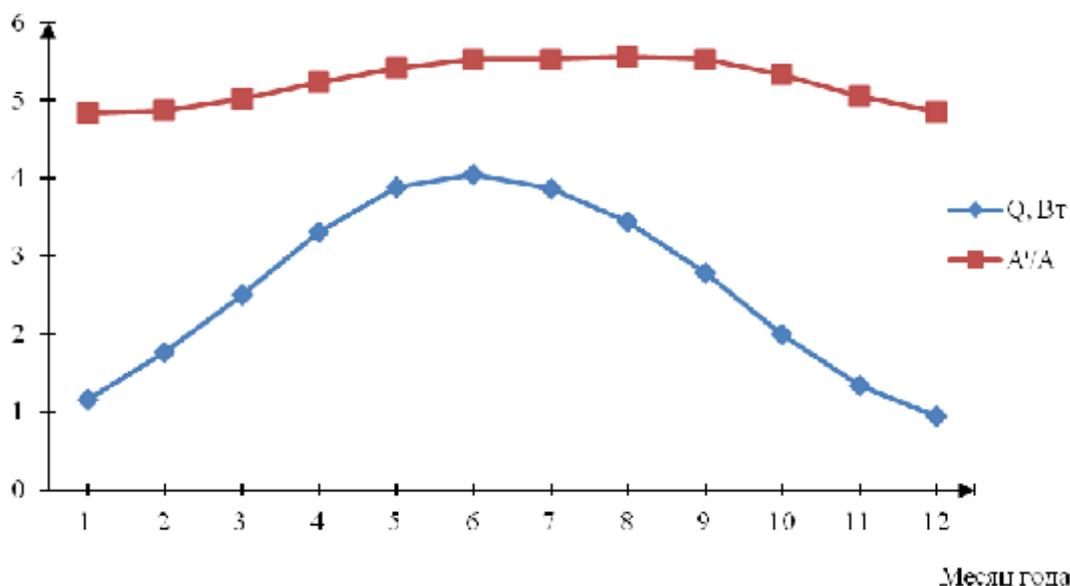
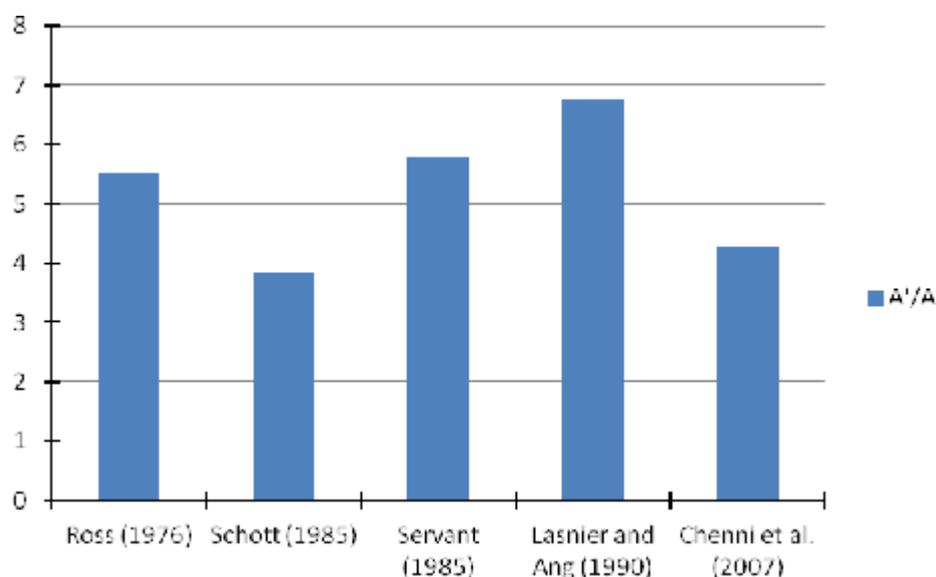


Рис. 1. Сравнение результатов моделирования, полученных с использованием различных температурных моделей



**Рис. 2. Результаты моделирования, полученные с использованием температурной модели Росса**



**Рис. 3. Результаты моделирования, полученные с использованием различных температурных моделей для июля месяца**

В результате моделирования были получены данные не о площади дополнительной поверхности  $A'$ , необходимой для компенсации нагрева фотоэлемента, а об отношении этой площади к площади самого фотоэлемента  $A'/A$ . Эти сведения, по мнению авторов, являются более репрезентативными, универсальными и удобными для последующего анализа.

На рис. 1 показано изменение температур фотоэлемента  $T_p$ , полученных с использованием моделей Росса, Шотта, Серванта, Ласнье и Чейни и окружающей среды  $T_a$  в зависимости от времени года.

Из рис. 2 видно, что величина площади дополнительной поверхности  $A'$  на протяжении года изменяется незначительно и в 5 – 5,5 раз (для температурной модели Росса) превосходит площадь самого фотоэлемента  $A$ . Максимальное значение отношение  $A'/A$  принимает в августе месяце. Фотоэлемент, при расчете нагрева его поверхности  $Q$ , был взят с размерами 80x70 мм.

На рис. 3 представлены отношения площади дополнительной поверхности  $A'$  к площади фотоэлемента  $A$ , полученные с использованием различных математических

моделей для июля месяца. В этом месяце зарегистрирована максимальная среднемесячная температура окружающей среды и высокая степень солнечного излучения, падающего на единицу площади фотоэлемента. Для каждой температурной модели получены разные значения отношения  $A'/A$ . Для модели Ласнье это отношение максимально. Авторы связывают это с наличием в выражении (3) обратной зависимости  $A'$  от разности температур фотоэлемента и окружающей среды  $T_p - T_a$ , которая для модели Ласнье минимальна (рис. 1).

### Выводы

1. Получены математические модели изменения температуры поверхности фотоэлемента на протяжении года, на основании которых рассчитаны коэффициенты теплообмена и потерь тепла поверхности вследствие конвекции, излучения и кондукции. Статистические данные о величине солнечного излучения, падающего на единицу площади фотоэлемента, температуре окружающей среды и скорости ветра взяты для города Симферополя.

2. Произведен расчет площади дополнительной поверхности, предназначенной для охлаждения фотоэлемента. Определено, что для полной компенсации нагрева фотоэлемента падающим солнечным излучением площадь этой поверхности в 5 – 5,5 раз (для температурной модели Росса) должна быть больше площади самого фотоэлемента.

3. Выполненные расчеты позволят в дальнейшем оптимизировать размеры как самих фотоэлементов во время проектирования и изготовления, так и площади дополнительной поверхности, необходимой для их охлаждения. Это будет способствовать повышению эффективности преобразования солнечной энергии фотоэлементами на протяжении всего года даже при высоких температурах окружающей среды.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фаренбрух А. Солнечные элементы: Теория и эксперимент / А. Фаренбрух, Р. Бьюб; [пер. с англ. под ред. М. М. Колтуна]. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
2. Skoplaki E. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations / E. Skoplaki, J.A. Palyvos // *Solar Energy*. – 2009. – Vol. 83. – P. 614 – 624.
3. Dubey S. Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review / S. Dubey, J. N. Sarvaiya, B. Seshadri // *Energy Procedia*. – 2013. – Vol. 33. – P. 311 – 321.
4. Investigation of Temperature Effects in Efficiency Improvement of Non-Uniformly Cooled Photovoltaic Cells / [A. A. Tarabsheh, S. Voutetakis, A. I. Papadopoulos, etc.] // *Chemical Engineering Transactions*. – 2013. – Vol. 35. – P. 1387 – 1392.
5. Duffie J. A. *Solar Engineering of Thermal Processes* / J. A. Duffie, W. A. Beckman. – [3rd Edition]. – UK: Wiley, 2006. – 908 p.
6. Бекиров Э. А. Разработка концентратора солнечной энергии с составной рефлекторной линзой для повышения мощности установок с фотоэлектрическими преобразователями / Э. А. Бекиров, А. П. Химич // *Відновлювана енергетика*. – 2010. – № 2 (21). – С. 28 – 31.
7. High performance Fresnel-based photovoltaic concentrator / [P. Benitez, J. C. Minano, P. Zamora, etc.] // *Optics Express*. – 2010. – Vol. 18. – P. A25 – A40.
8. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* / [Edited by A. Luque and S. Hegedus]. – [2nd Edition]. – UK: Wiley, 2011. – 1132 p.
9. Comparison of Solar Photovoltaic Module Temperature Models / [A. Q. Jakhriani, A. K. Othman, A. R. H. Rigit and S. R. Samo] // *World Applied Sciences Journal*. – 2011. – Vol. 14. – P. 1 – 8.
10. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б. В.1.1-27:2010. – [Чинний від 2011-11-1]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с. – (Національний стандарт України).

## АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ БАССЕЙНОВ В ОТРАБОТАННЫХ КАРЬЕРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Бекиров<sup>1</sup> Э.А., Буркова<sup>2</sup> Е.В., Бурков Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальная академия природоохранного и курортного строительства,

<sup>2</sup>Севастопольский национальный технический университет

В работе рассматривается экологическая безопасность источников теплоснабжения на основе аккумуляторов солнечной энергии в отработанных карьерах. Их применение позволяет организовать централизованную систему солнечного теплоснабжения вместе с работой традиционных котельных, с помощью чего будет уменьшен выброс загрязняющих веществ в атмосферу. Проведен математический анализ теплового режима бассейна карьера, представляющий собой тепловой аккумулятор, с использованием метода пространства переменных состояния. Представлена система теплоаккумулятора, в которой наблюдается увеличение скорости циркуляции жидкости с увеличением температуры.

**Экологическая безопасность, сезонный аккумулятор, поток жидкости, плотность поглощенной энергии.**

### ВВЕДЕНИЕ

Экологическая безопасность городов и поселков Крыма является одной из актуальнейших задач современного развития курортов и санаториев Крыма. Остро стоит вопрос уменьшения загрязнения южного берега Крыма и других курортных зон от выбросов CO, CO<sub>2</sub>, NO и других компонентов при работе отопительных систем, использующих традиционные энергоносители: уголь, мазут, газ.

Улучшение экологии может быть достигнуто путем замены котельных, использующих традиционные энергосистемы, для обеспечения теплоснабжения Балаклавы на экологически безопасной системе теплоснабжения, использующих энергию солнечной радиации и тепло земли бассейна отработанного карьера.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

На сегодняшний день проблема экологической опасности отработанных карьеров до конца не решена. Уже имеющиеся способы рекультивации таких карьеров позволяют полностью предотвратить экологический ущерб, который наносится окружающей среде [1,2].

Бассейн отработанного карьера можно рассматривать как тепловой аккумулятор и организацию данного аккумулятора можно выполнить по типу солнечного пруда (рис.1). Для подавления тепловой конвекции и аккумуляирования тепла придонный слой имеет повышенную соленость, формируется специальный аккумулятор [3].

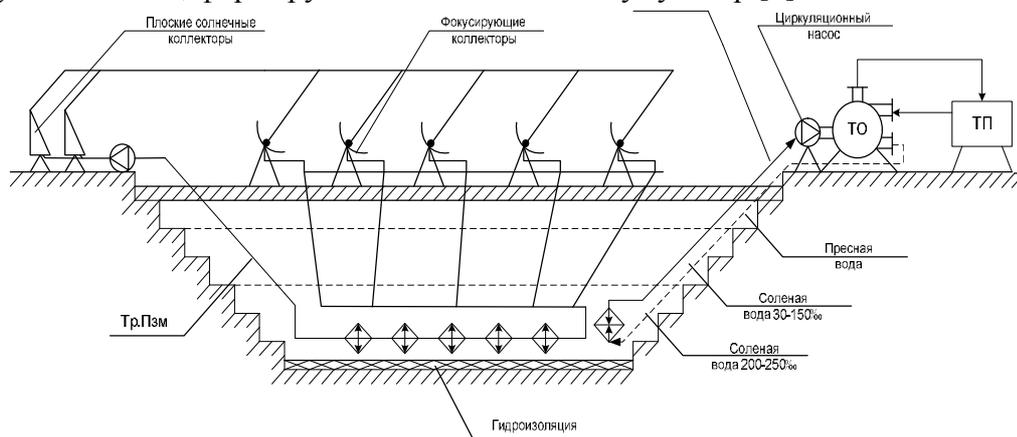
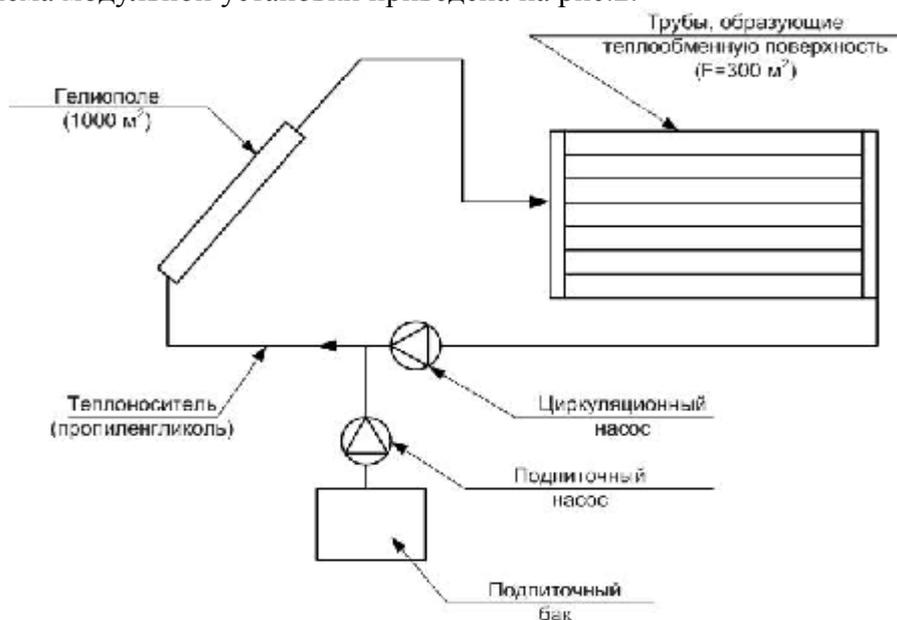


Рис. 1. Общая схема сезонного аккумулятора теплоты.

Верхний слой аккумулирующего материала (пресная вода) изолируется специальными устройствами, на которых расположены фокусирующие солнечные коллекторы. Схема модульной установки приведена на рис.2.



**Рис. 2. Схема модульной установки**

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании рисунков 1 и 2 проведем математический анализ теплового режима бассейна карьера, представляющий собой тепловой аккумулятор, с использованием метода пространства переменных состояния.

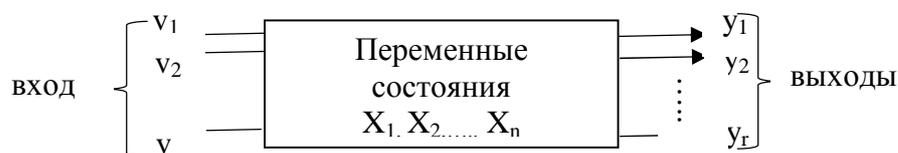
### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрение физической системы как объекта исследования или проектирования распределим все переменные, характеризующие систему на три множества (рис.3):

- 1) входные переменные,  $n_1, n_2, \dots, n_m$  характеризующие внешнее воздействие на входы системы (изменение температуры);
- 2) переменные состояния  $x_1, x_2, \dots, x_n$  - внутренние (промежуточные) переменные, совокупность которых полностью характеризует свойства системы (изменение теплопередачи);
- 3) выходные переменные  $y_1, y_2, \dots, y_d$ , представляющие те реакции на внешние воздействия и те состояния системы, которые представляют интерес для исследования.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Рассмотрим бассейн отработанного карьера как тепловой аккумулятор. В бассейне карьера могут протекать одновременно два процесса: экзотермический  $C_1 \rightarrow C_2$  со скоростью  $n_1$  и теплотой  $h_1$  и эндотермический  $C_2 \rightarrow C_3$  со скоростью  $n_2$  и теплотой  $h_2$ . Эти процессы приводят к изменению температуры воды и солевого раствора бассейна карьера. На температуру собственно будут оказывать как солнечная радиация и температура грунта, окружающего бассейн, которые можно отнести к естественным источникам теплоты, так и плоские солнечные коллекторы, и фокусирующие коллекторы, являющиеся инструментом к искусственным источникам теплоты.



**Рис.3 Объект исследования**

После упорядочения (нумерации) элементов имеем тип параметра: входной (задающий)  $n = (n_1, n_2, \dots, n_m)$ , вектор состояний  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  и выходной  $y = (y_1, y_2, \dots, y_p)$ . Используя пространство переменных состояния [4] саму систему можно рассматривать как «черный ящик» с  $m$  входами и  $p$  выходами с каждым из которых связана соответствующая переменная. Совокупность входов можно рассматривать как один обобщенный вход, а совокупность выходов – как обобщенный выход. Переменные состояния связаны с внутренними свойствами системы.

Процессы, протекающие в бассейне для рассматриваемой системы, можно описать системой нелинейных дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= n_1 - (n_1 - n_2 - u_1)x_1 \\ \frac{dx_3}{dt} &= u_1(1 - x_1 - x_3) - (n_1 + n_2)x_3 \\ \frac{dt}{dt} &= h_1 u_1 x_1 + h_2 u_2 (1 - x_1 - x_3) + n_1(t_1 - t) + n_2(t_2 - t) + C \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Переменные состояния  $x_1$  и  $x_3$  означают весовые доли компонентов  $C_1$  и  $C_3$ , которые связаны с весовой долей  $x_2$  компоненты  $C_1$  зависимостью  $x_1 + x_2 + x_3 = 1$ . Переменные составляющие  $x$  характеризуют температуру подогрева солнечными коллекторами. Третья переменная состояния  $t$  представляет собой количество теплоты, выделяемой в бассейне от суммарной солнечной радиации. Уравнение составляем в предположении, что компоненты солевого раствора теплоаккумулятора  $C_1, C_2, C_3$  имеют одинаковые теплоемкости и плотности, молекулярный вес компонент не меняется. Скорости нагрева  $n_1$  и  $n_2$  компонент состава теплоаккумулятора  $C_1$  и  $C_2$  соответственно и их температуры  $t_1$  и  $t_2$ , являются задающими воздействиями, а  $C$  - скорость теплообмена бассейна. Скорости теплообмена  $n_1$  и  $n_2$  выражаются экспоненциальными функциями:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= x_1 \exp \frac{a_1 - b_1}{t} \\ u_2 &= x_2 \exp \frac{a_2 - b_2}{t} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где  $a_1, a_2, b_1, b_2$  - константы.

Обозначив вектор переменных состояния  $x = (x_1, x_3, t)$  и вектор воздействия  $n = (n_1, n_2, t_1, t_2)$  нелинейное уравнение можно записать в матричной форме через вектор-функцию:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, n, t) \quad (3)$$

Непрерывно детерминированные системы в каждый момент времени  $t$  можно описать парой матричных уравнений:

$$\frac{dx(t)}{dt} = F[x(t), n(t)]; \quad y(t) = y[x(t), n(t)] \quad (4)$$

Первое из них является уравнением состояния системы, решение которого, удовлетворяющему условию начальных значений состояния бассейна  $x_0 = x(t_0)$ , дает вектор состояния:

$$x(t) = y[x(t_0), n(t)] \quad (5)$$

Второе уравнение определяет выходные переменные в зависимости от  $x(t)$  и  $n(t)$  и поэтому называется выходным уравнением.

Для линейных систем имеем:

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= A(t)x(t) + B(t)n(t); \\ y(t) &= C(t)x(t) + D(t)n(t) \end{aligned} \quad (6)$$

где  $A(t)$  - матрица системы;  
 $B(t)$  - матрица управления;  
 $C(t)$  - матрица выхода;  
 $D(t)$  - матрица входа.

Если элементы этих матриц зависят от времени  $t$ , то система будет линейной нестационарной или параметрической. Для линейных стационарных систем элементы матриц  $A, B, C, D$  выражаются постоянными числами, которые являются функциями параметров компонент системы.

Рассмотрим общую схему сезонного аккумулятора теплоты (рис.1). Для гидравлического контура солнечного коллектора с естественной циркуляцией уравнение непрерывности в общем случае имеет вид [5]:

$$\frac{\partial r}{\partial t} + \text{div}(r\vec{u}) = 0 \quad (7)$$

При стационарном распределении температуры в трубе коллектора  $\frac{\partial r}{\partial t} = 0$ , следовательно:

$$\text{div}(r\vec{u}) = 0 \quad (8)$$

При одномерном движении жидкости уравнение (8) принимает вид:

$$\frac{d}{dx}(ru) = r \frac{du}{dx} + u \frac{dr}{dx} = 0 \quad (9)$$

откуда

$$rdu + udr = 0 \quad (10)$$

Разделив (10) на плотность потока жидкости  $ru$  и интегрируя, получим:

$$\int \frac{du}{u} + \int \frac{dr}{r} = 0 \quad (11)$$

Таким образом:

$$\ln u + \ln r = \ln(ru) = \text{const}, \quad (12)$$

откуда

$$J = ru = \text{const}, \quad (13)$$

где  $J$  - плотность потока жидкости.

Для составления уравнения баланса энергии рассмотрим элемент жидкости в коллекторе длиной  $dx$ . Этот элемент за время  $dt$  поглощает количество энергии:

$$dQ = P_0 S dt = P_0 d \cdot dx dt. \quad (14)$$

Поглотив это количество энергии, элемент жидкости получает приращение температуры  $dT$ , определяемое выражением:

$$dQ = c \cdot dm \cdot dT = cr(T)p \frac{d^2}{4} dx dT. \quad (15)$$

Приравнявая (14) и (15), получим:

$$P_0 d \cdot dx \cdot dt = cr(T)p \frac{d^2}{4} dx dT. \quad (16)$$

Откуда, учитывая, что  $dt = \frac{dx}{u}$ , получим градиент температуры в трубе коллектора:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{4P_0}{cpdr(T)u}. \quad (17)$$

Согласно (13)  $r(T)u = const$ , следовательно, градиент температуры является постоянной величиной. Интегрируя (17), получим закон изменения температуры по трубе коллектора:

$$\int_{T_1}^{T_2} dT = \int_0^L \frac{4P_0}{cpd r(T)u} dx, \quad (18)$$

где  $T_1$  – температура на входе в трубу коллектора,

$T_2$  – температура на выходе из трубы.

Таким образом:

$$T_2 = T_1 + \frac{4P_0 L}{cpdJ}, \quad (19)$$

где  $J = r(T)u$  – плотность потока жидкости. Уравнение (19), представляющее собою закон сохранения энергии, показывает, что возрастание температуры вдоль трубы коллектора является линейным. В общем случае, интегрируя (18) до некоторой точки с произвольной координатой  $x$ , получим:

$$T(x) = T_1 + \frac{4P_0}{cpdj} \cdot x, \quad (20)$$

или

$$T(x) = T_1 + K \cdot x, \quad (21)$$

где  $K = \frac{dT}{dx} = \frac{4P_0}{cpdJ}$ .

В силу уравнения непрерывности (13) градиент температуры  $K$  будет постоянным по длине труб коллектора.

Движение жидкости сопровождается потерями напора, вследствие чего давление по длине трубы изменяется. Закономерность движения реальной жидкости может быть описана уравнением движения, представляющим собой второй закон Ньютона. Для одномерного потока вязкой жидкости оно может быть записано в виде [6]:

$$r \frac{Du}{dt} = rg \cdot \sin a - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \Delta p_{\text{зудр}}}{\partial x}. \quad (22)$$

Левая часть уравнения выражает произведение массы элемента жидкости на ускорение, правая – сумму сил, действующих на элемент жидкости: сила тяжести, давления и гидравлических сопротивлений движению. Для одномерного потока жидкости субстанциональная производная имеет вид [5]:

$$\frac{Du}{dt} = \frac{du}{dt} + u \frac{du}{dx}. \quad (23)$$

При стационарном течении  $\frac{du}{dt} = 0$  и уравнение (22) можно записать в виде:

$$ru \frac{du}{dx} = rg \cdot \sin a - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \Delta p_{\text{зудр}}}{\partial x}, \quad (24)$$

откуда:

$$dp = rg \cdot \sin a \cdot dx + \frac{\partial \Delta p_{\text{зудр}}}{\partial x} dx - ru du. \quad (25)$$

Интегрируя (25) на участке гидравлического контура длиной  $L$ , получим:

$$\Delta p = g \sin a \int_0^L r(x) dx + \int_0^L \frac{\partial \Delta p_{\text{зудр}}}{\partial x} dx - \int_{u_1}^{u_2} r(T) u du \quad (26)$$

Потери на трение для случая изотермического потока определяются выражением [7]

$$\Delta p_{mp} = x_0 \frac{L}{d} \frac{r(T_1) u^2}{2}, \quad (27)$$

где коэффициент трения  $x_0$  определяется выражением  $x_0 = \frac{64}{Re}$ .

Так как число Рейнольдса  $Re = \frac{ud}{\nu}$ , где  $\nu$  – динамическая вязкость воды, то для  $x_0$  получим:

$$x_0 = \frac{64\nu}{ud} \quad (28)$$

Тогда уравнение (27) примет вид:

$$\Delta p_{mp} = \frac{32m(T_1)uL}{d^2}, \quad (29)$$

где  $m(T_1) = r(T_1)\nu(T_1)$  – динамическая вязкость жидкости при температуре  $T$  в опускной трубе,

$d$  - диаметр трубы

Согласно [7], коэффициент трения в повороте трубки  $x = x_0BC$ , где величины  $\xi_0$ ,  $B$ , и  $C$  определяются по графикам, полученным на основании обработки экспериментальных данных. По графикам, приведенным в [7]  $\xi_0=0.9$ ,  $B=1.4$ ,  $C=1$  (для трубы круглого сечения). Тогда общий коэффициент трения  $x = 0.9 \cdot 1.4 = 1.26$ . Таким образом, потери на трение в повороте:

$$\Delta p_{nos} = 1.26 \frac{Lr(T_1)u^2}{2d} = 0.63 \frac{Lr(T_1)u^2}{d} \quad (30)$$

Функцию скорости  $u(T)$  представим через скорость на входе в трубу коллектора  $u_1$  с помощью уравнения непрерывности:  $r(T)u(T) = r(T_1)u_1$ , откуда

$$u(T) = u_1 \frac{r(T_1)}{r(T)} = \frac{J}{r(T)} \quad (31)$$

Потери давления на трение в трубе коллектора:

$$\Delta p_{зудр} = \frac{J}{2dK} \int_{T_1}^{T_2} x(T)u(T)dT \quad (32)$$

Подставив (31) в (32), получим:

$$\Delta p_{зудр} = \frac{J^2}{2dK} \int_{T_1}^{T_2} \frac{x(T)dT}{r(T)}. \quad (33)$$

Согласно [7] зависимость коэффициента трения  $x(T)$  от температуры при ламинарном движении жидкости имеет вид:

$$x(T) = x_0 \left( \frac{m(T)}{m(T_1)} \right)^{n(T)} \quad (34)$$

Показатель степени  $n(T)$  определяется выражением [7]:

$$n(T) = 2.3 \left( Pe \frac{d}{L} \right)^{-0.3} \left( \frac{m(T)}{m(T_1)} \right)^{-0.062}, \quad (35)$$

где  $Pe = \frac{u(T)L}{a(T)}$  – число Пекле,

$a$  – температуропроводность воды.

С учетом (31) уравнение (35) примет вид:

$$n(T) = 2.3 \left( \frac{d \cdot J}{a(T)r(T)} \right)^{-0.3} \left( \frac{m(T)}{m(T_1)} \right)^{-0.062}. \quad (36)$$

Потери давления, связанные с ускорением жидкости, определяются с помощью выражения:

$$\Delta p_{\text{уск}} = - \frac{n_2}{n_1} \int r(T) u du. \quad (37)$$

Учитывая, что плотность потока  $J = \text{const}$ , получим выражение:

$$\Delta p_{\text{уск}} = - \int_{u_1}^{u_2} r(T) u(T) du = - \int_{u_1}^{u_2} J du = -J(u_2 - u_1) \quad (38)$$

Исключая  $u_2$  с помощью (31), получим:

$$\Delta p_{\text{уск}} = -J u_1 \left( \frac{r(T_1)}{r(T_2)} - 1 \right) \quad (39)$$

Гидростатистическое давление в трубе коллектора:

$$\Delta p_{\text{гид}} = g \sin a \int_0^L r(T) dx = \frac{g \sin a}{K} \int_{T_1}^{T_2} r(T) dT. \quad (40)$$

Уравнение для трубы коллектора с учетом приведенных выше соотношений примет вид:

$$\Delta p_k = \frac{J^2}{2dK} \int_{T_1}^{T_2} \frac{x(T)}{r(T)} dT - J u_1 \left( \frac{r(T_1)}{r(T_2)} - 1 \right) + \frac{g \sin a}{K} \int_{T_1}^{T_2} r(T) dT \quad (41)$$

Таким образом, система уравнений, определяющая режим естественной циркуляции в коллекторе с гидродинамическим контуром, имеет вид:

$$\begin{cases} r(T_1) g L \sin a + \frac{32 m(T_1) u_1 L}{d^2} + 0.63 \frac{r(T_1) u_1^2 L}{d} = \\ = \frac{J^2}{2dK} \int_{T_1}^{T_2} \frac{x(T)}{r(T)} dT + J u_1 \left( \frac{r(T_1)}{r(T_2)} - 1 \right) + \frac{g \sin a}{K} \int_{T_1}^{T_2} r(T) dT \\ T_2 = T_1 + \frac{4 P_0 L}{c d p d J} \end{cases} \quad (42)$$

Решение этой системы уравнений, при известных  $P_0, d, L, a, T_1, c$  и параметрах жидкости, как функция температуры  $r(T), n(T), m(T), a(T)$  позволяет определить обе неизвестных –  $u_1$  и  $T_2$ . Это дает возможность определить поток жидкости в трубе коллектора и поток энергии, переносимый в аккумулятор. При наличии циркуляционных насосов производительность увеличится в  $m$  раз за счет увеличения напора жидкости.

Если в качестве исходных данных принять:

– поглощённый жидкостью поток энергии  $P_0 = 700 \text{ Вт/м}^2$ ;

– теплоемкость воды  $C = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кгК}}$ ;

– диаметр труб коллектора  $d = 0,03 \text{ м}$ ;

– длина труб коллектора  $L = 2 \text{ м}$ ;

– угол наклона коллектора к горизонту  $I = 45^\circ$ ;

– температуру в аккумуляторе  $T_1 = 20^\circ \text{С} = 293 \text{ К}$ ,

то функциональные зависимости параметров воды от температуры имеют вид:

– плотность  $r(T) = \frac{995,7}{0,984 + 0,483 \cdot 10^{-3}(T - 273)}$ ;

– коэффициент кинематической вязкости

$$u(T) = \frac{1,78 \cdot 10^{-6}}{1 + 0,0337(T - 273) + 0,00022(T - 273)^2};$$

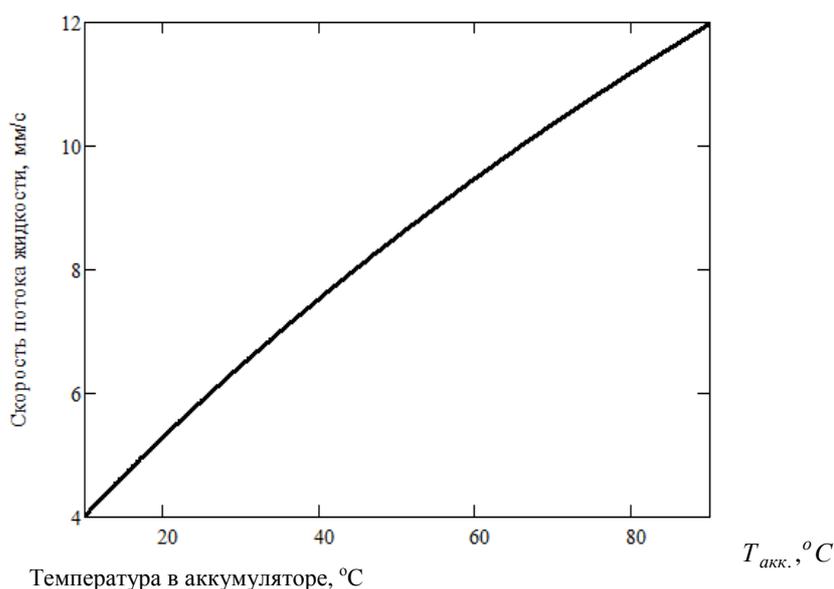
– коэффициент кинетической вязкости  $m(T) = r(T)u(T)$ ;

– коэффициент температуропроводности

$$a(T) = 1,32 \cdot 10^{-7} [1 + 0,003(T - 273)].$$

На рис.4 показана зависимость скорости потока жидкости в опускной трубе и на входе в трубу коллектора в зависимости от температуры в баке-аккумуляторе. Рост скорости циркуляции с температурой обусловлен с уменьшением гидравлического сопротивления потоку жидкости, с другой – увеличением разности статических давлений в обратной трубе и трубе коллектора, которая, в свою очередь, связана с увеличением скорости падения плотности с ростом температуры [8]. Эта разность статических давлений представляет собой движущее давление, возникающее вследствие разных масс жидкости в опускной трубе и трубе коллектора.

$$V_{\text{жидк}} \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$



**Рис. 4. Зависимость скорости потока жидкости на входе в трубу коллектора от температуры в аккумуляторе.**

Зависимость потока жидкости от плотности поглощенной энергии  $P_0$ , существенно может меняться в течение светового дня с высотой Солнца над горизонтом и изменением его азимута относительно коллектора. Поток возрастает с увеличением освещенности. Скорость его роста существенно зависит от температуры. При температурах в аккумуляторе 20 °C, 40 °C и 60 °C средняя скорость увеличения потока жидкости при изменении поглощенного потока  $P_0$  соответственно равна  $5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{мин} \cdot \text{Вт}}$ ;  $7,5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{мин} \cdot \text{Вт}}$ ;  $9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{мин} \cdot \text{Вт}}$ . Это увеличение связано с уменьшением трения в коллекторе и росте движущего давления с температурой.

### Выводы

1) В представленной системе теплоаккумулятора наблюдается увеличение скорости циркуляции жидкости с увеличением температуры. Это увеличение скорости приводит уменьшению приращения температуры в трубе коллектора, которое при температуре больше 36°С составляет 2,5-3°С.

2) При увеличении поглощенного потока тепла  $P_0$  и температуры возрастает поток жидкости в трубе. При повышении температуры на  $10^0\text{C}$  поток увеличивается на 22%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко В.С. Рекультивация нарушенных земель на карьерах / Коваленко В.С., Штейнцайг Р.М., Голик Т.В. – М.: Горная книга, 2012 г. – 65 с.
2. Томаков П.И. Экология и охрана природы при открытых горных работах / Томаков П.И., Коваленко В.С., Михайлов А.М., Калашников А.Т.. М.: Изд-во «МГГУ», 1994 г. – 418 с.
3. Макаров В.В., Буркова Е.В. Оценка возможности сезонного аккумулирования солнечной энергии в выработанных карьерах// Возобновляемая энергетика. - К.: ИВЭ НАН Украины.– 2008. - №3. – С. 38-41.
4. Корн Г., Корн Т.Справочник по математике. – «Наука», М, 1978, – 831с., ил.
5. Биркгоф Г., Гидродинамика. М., Иностранная литература, 1963, – 244 с., ил.
6. Стырикович М.А., Катковская К.Я., Серов Е.П. Котельные агрегаты. М.; Госэнергоиздат, 1959, – 488с., ил.
7. Кутателадзе С.С., Боришанский В.М. Справочник по теплопередаче. Л.; Госэнергоиздат, 1958, – 414с., ил.
8. Бекиров Э.А., Каркач Д.В. Алгоритм расчета и анализ естественной циркуляции в солнечном коллекторе.// Відновлювана енергетика. – 2013. – №1. – С.21-28.

*УДК 621.181-09.096*

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В ОБЪЕМНО-ОХЛАЖДАЕМЫХ ТОПКАХ КОТЛОВ

**Воинов А.П., Воинова С.А.**

*Одесский национальный политехнический университет*

Системы автоматического управления (САУ) призваны способствовать реализации технологических возможностей управляемых ими технических объектов (ТО). Вместе с тем, технологические возможности САУ должны раскрывать свойства ТО в полной мере. Это условие приобретает особый смысл в случаях автоматизации новых, инновационно-насыщенных ТО. К числу последних относятся котельно-топочные системы, оснащенные топками с объемным охлаждением топочной среды – объемно-охлаждаемыми топками. В контексте рассматриваемой проблемы, САУ технологическим процессом котлов с объемно-охлаждаемыми топками (ООТ), кроме традиционных задач, необходимо поручить решение ряда дополнительных задач.

**Системы автономного управления, технические объекты, камерная топка, топочная камера, топочный экран, объемно-охлаждаемые топки**

### ВВЕДЕНИЕ

В применяемых традиционных камерных топках процесс выделения теплоты осуществляется в объеме топочной камеры, а ее поглощение осуществляется радиационными топочными экранами, расположенными на стенах топки. То есть, выделение теплоты имеет объемный характер, а ее поглощение имеет поверхностный характер. Конфликт между двумя составляющими технологического процесса этих – поверхностно-охлаждаемых топок (ПОТ) – является источником основного, принципиального их недостатка – высокой неравномерности поля температуры газов в каждом из поперечных сечений топочной камеры. Этот существенный недостаток ПОТ усложняет их конструктивно-компоновочную схему, снижает уровень технологической

эффективности, ее экологической, экономической и общетехнической составляющих, усложняет и удорожает процесс эксплуатации.

#### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Объемно-охлаждаемые топки (ООТ), разработанные в Одесском национальном политехническом университете [1,2], отличаются от традиционных ПОТ тем, что способны обеспечить новый высокий позитивный технологический эффект, состоящий, в частности, в следующем:

- расположенные в объеме топочной камеры пучки -ширмы турбулизируют пронизывающий их восходящий поток газов, чем интенсифицируют процесс горения и повышают его равномерность по ширине и по глубине топки,
- в топочной камере, в области развитого активного горения исключены условия образования высокотемпературного ядра факела, поэтому сжигание топлива осуществляется в начале среднетемпературной зоны,
- исключен риск термической перегрузки и повреждения труб топочных радиационных поверхностей нагрева, свойственный зоне расположения высокотемпературного ядра факела в ПОТ,
- обеспечена высокая степень равномерности поля температуры газов по ширине топки, в выходном ее окне,
- обеспечена высокая прямая отдача топки,
- обеспечена универсальность по виду сжигаемого топлива.

#### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

В отличие от традиционных камерных топок, ООТ содержит вертикальные трубчатые пучки-ширмы, разделяющие топочную камеру на несколько равновеликих вертикальных секций (рис.1). Пучки-ширмы образованы трех-четырёх-рядными лентами труб, объединенных нижними и верхними коллекторами и связанными между собой (в каждом пучке) поясами жесткости.

#### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Каждый пучок-ширма образует восходящий участок контура естественной или принудительной циркуляции – элемента испарителя котла.

Каждая секция топки оснащена горелками, формирующими плоский восходящий факел с зоной воспламенения, расположенной под нижней кромкой труб пучка-ширмы.

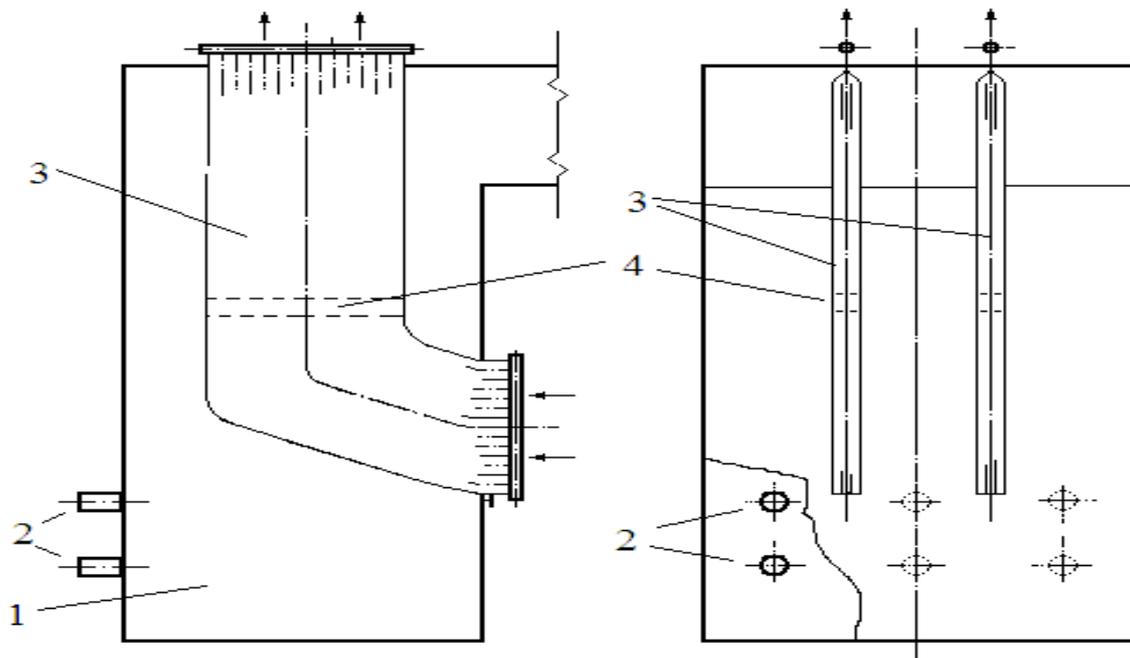
Технологический процесс в ООТ имеет существенные позитивные особенности:

- устойчивость воспламенения топливно-воздушной смеси в нижней широкой (свободной от пучков-ширм) части топочной камеры, слабо охлаждаемой только настенными топочными радиационными экранами,
- условия работы факела в каждой секции одинаковы, что обуславливает в них практически одинаковую интенсивность как процесса горения, так и процесса теплообмена, и, как результат, одинаковую температуру газов на выходе из каждой секции топки,
- процесс горения в плоском узком факеле каждой секции идет без образования высокотемпературного ядра факела.

В итоге, ООТ по сравнению с ПОТ, при прочих равных условиях, обладают следующими принципиально важными преимуществами:

- более высокий уровень экологичности, прежде всего, по уровню выброса оксидов азота ( $NO_x$ );
- более высокий уровень экономичности,
- существенно более благоприятные массогабаритные характеристики.

Повышение уровня технологической эффективности котлов с ООТ требует соответственно более совершенного процесса управления ими, требует инновационного подхода к задачам САУ, ее возможностям, ее функциям и качеству процесса управления котлом.



**Рис.1. – Эскиз компоновки камерной объёмно-охлаждающей топки (настенные радиационные экраны не показаны)**

**1-топочная камера, 2 – горелка, 3 – пучок-ширма, 4 – пояс жесткости пучка-ширмы**

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗЫ**

В контексте рассматриваемой проблемы, САУ технологическим процессом котлов с ООТ, кроме традиционных задач, необходимо поручить решение ряда дополнительных задач, в том числе перечисленных ниже.

- 1). Поддержание в рабочем диапазоне изменения нагрузки котла соответствующего ей одинакового расхода топлива на горелки каждой секции топки.
- 2). Поддержание постоянного заданного превышения расхода топлива в нижние горелки над его расходом в верхние горелки каждой секции.
- 3). То же расхода воздуха.
- 4). Поддержание заданного минимального уровня коэффициента избытка воздуха в газах за каждой секцией топки, по данным о содержании продуктов неполного сгорания ( $CO$ ,  $C_nH_m$ ) в топочных газах на выходе из нее.
- 5). Обеспечение возможности средствами автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора корректировать текущее значение коэффициента избытка воздуха в газах на выходе из каждой секции топки.
- 6). Расширение сферы текущего и учетного контроля и сигнализации о главных параметрах топочного процесса.
- 7). То же о текущих качественных характеристиках сжигаемого твердого (особенно, пылеугольного) топлива.
- 8). Повышение стабильности свойств пылеугольного топлива применением разомкнутых схем пылеприготовительных установок.
- 9). Совершенствование САУ пылеприготовительными установками, с целью улучшения и стабилизации во времени качества пылеугольного топлива.
- 10). Применение САУ технологическим процессом котельной установки, адаптированных к закону изменения технологических свойств котлов под действием износа [3].
- 11). Расширение сферы применения средств технической диагностики состояния элементов и систем топки и котла в целом.

Следует отметить, что применение в современной энергетике инновационно-насыщенного научно-технического решения – котла с ООТ вместо ПОТ– неизбежно

усложняет САУ технологическим процессом котла и котельной установки. Однако, подобное усложнение продуктивно и в полной мере оправдано, так как обусловленное им повышение уровня технологической эффективности котла с ООТ многократно превышает ресурсовложения, связанные с указанным усложнением САУ.

В котельных установках ТЭС и промышленно-отопительных котельных при использовании котлов с ООТ целесообразно применять современные компьютерно-интегрированные САУ.

В общем случае, движение технического объекта (ТО), в частности, котла, по траектории расходования назначенного ресурса должно происходить в регулярном режиме. Возможные отклонения от него, в виде внерегламентных воздействий (отказов, аварий и т. п.) должны быть надежно блокированы поддержанием оборудования в надлежащем техническом состоянии, нормативным техническим (эксплуатационным и ремонтным) его обслуживанием, ведением режима эксплуатации в рамках установленного регламента [4].

Подход к автоматизации котла с ООТ и котельно-вспомогательного оборудования должен носить системно-комплексный характер [5].

Алгоритм САУ котлом должен быть адаптированным к закону его износа во времени, с учетом условий эксплуатации [6].

Все это в полной мере относится к котлам и их топочным устройствам.

#### **Выводы**

1. Объемно-охлаждаемые топки и котлы, оборудованные ими, несут черты инновационных научно-технических решений.

2. Комплекс задач, стоящих перед САУ котельно-топочной системой с ООТ, шире такового в случае котлов с ПОТ.

3. Котлы с ООТ нуждаются в удовлетворении ряда новых, более жестких требований к режиму ведения технологического процесса топки.

4. Объектом и источником новых задач управления ООТ являются элементы двуединого топочного процесса горения - выделения и поглощения теплоты.

5. Удовлетворение повышенных требований к качеству управления технологическим процессом котла с ООТ позволяет улучшить его показатели функционирования.

6. Надлежаще поставленное и высококачественно реализованное управление технологическим процессом ООТ позволяет продуктивно, в полной мере использовать их широкие потенциальные возможности инновационного уровня.

7. Необходимо расширить исследование технологических свойств, регулировочных характеристик ООТ, влияния на них со стороны различных факторов, особенно, соотношения габаритных размеров секции и масштабного фактора.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

9. Воинов А.П., Чернуха Д.В. Разработка перевода топки котла ТПП-210А на объемное охлаждение/Труды ОПУ/ Научно- и производственно - практический сборник по техническим и естественным наукам.- Одесса, 2002.– Вып. 2 (18).– С. 62 - 65.
10. Воинов А.П., Воинова С.А. Объемное охлаждение топки – инновационный элемент развития котельно-топочных систем/ Энергетика та електрифікація, 2014, № 7.- С. 14 - 17.
11. Воинова С.А. Некоторые особенности гибкого управления техническими объектами/ Энергетика та електрифікація, 2013, № 10.- С 34-37.
12. Воинова С.А. Влияние внерегламентных воздействий на технологическую эффективность действующего технического объекта/ Энергетика та електрифікація, 2014, №6.- С. 58 – 62.
13. Воїнова С.О. Системний підхід до управління технологічною ефективністю технічних об'єктів/ Фізическіе і комп'ютерніе технологіи/ Труды 17-й

Международной научно-технической конференции, 20-21 сентября 2011г.- Харьков: ХНПК «ФЭД», 2011.- С.105-108.

14. Воинова С.А. О подходе к управлению технологической эффективностью создаваемых технических объектов/ Міжнародний журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів», 2012, № 11, 12. – Одеса: ОНАХТ, 2012.- С. 26-28.

**УДК: 662.612 — 428.4**

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ ПРИ КОЛИЧЕСТВЕННО-КАЧЕСТВЕННОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ.**

**Зайцев О.Н., Петрекевич Л.В., Лукьянченко Д.М.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

В статье приведены результаты теоретических исследований поля температуры, скорости и давления в предложенной конструкции терморегулятора. Показано, что в данном случае наблюдается практически линейный режим регулирования расхода теплоносителя, что дает возможность работать системе водяного отопления в постоянном гидравлическом режиме с изменением количественной и качественной характеристик теплоносителя только в нагревательных приборах.

Предложена система водяного отопления с низкотемпературным теплоносителем на основе использования гидравлически изменяемого режима в нагревательных приборах с сохранением постоянного в остальной части системы и увеличения диапазона эффективной работы терморегуляторов, позволяющая снизить требуемое давление в системе отопления и капитальные затраты за счет уменьшения количества требуемых балансировочных клапанов в системе отопления

**Нагревательный прибор, терморегулятор, система отопления**

### **ВВЕДЕНИЕ**

В Украине доля теплопотребления в жилищно-коммунальном хозяйстве занимает около 60% от общего количества вырабатываемой тепловой энергии, в тоже время, оснащение отопительных приборов индивидуальными автоматическими регуляторами теплового потока (термостатами) позволяет в зависимости от типа регуляторов и условий их эксплуатации уменьшить расход тепловой энергии на отопление на 10-20% в основном за счёт снижения непроизводительных затрат теплоты [1, 3, 5-7].

### **Анализ публикаций**

Основным недостатком в работе регулируемых систем отопления является узкая область линейного действия терморегуляторов (от 0,3 до 0,7 хода клапана), кроме того, в отличие от традиционных аналогов, для таких систем, характерны повышенные единовременные капитальные вложения при повышении рабочего давления в системе (в 3-4 раза) по сравнению с нерегулируемыми системами, что негативно сказывается на эксплуатационных расходах [8-12]. Также необходимо отметить, что, несмотря на достаточно развитую теорию гидравлического регулирования систем отопления в настоящее время отсутствуют тепловые модели работы таких систем. Особенно негативна ситуация при малом тепловом напоре в нагревательном приборе, что характерно для возобновляемых источников энергии.

### **Цель и постановка задач**

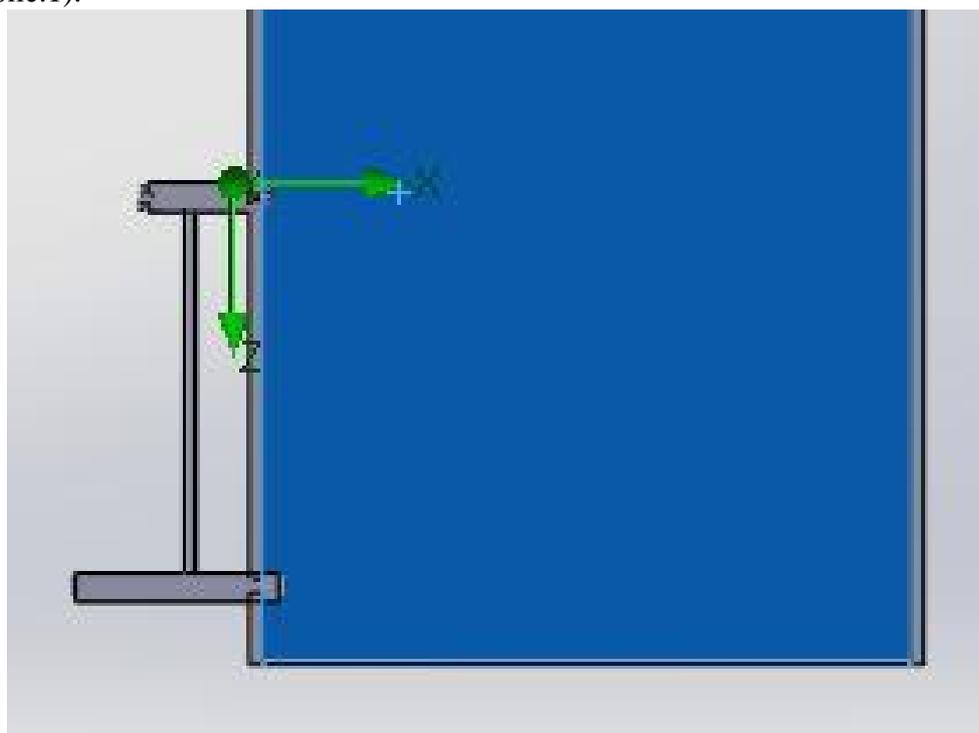
Является совершенствование систем водяного отопления с низкотемпературным теплоносителем на основе использования гидравлически изменяемого режима в

нагревательных приборах с сохранением постоянного в остальной части системы отопления.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели был предложен способ регулирования системы отопления путем установки на каждый нагревательный прибор эжектора, связанного с термостатом, что позволяет изменить тепловой поток за счет количественного регулирования в нагревательном приборе, а остальная часть системы отопления работает в постоянном гидравлическом режиме. Однако существующие методики подбора регулирующего оборудования для водяных систем отопления не учитывают результирующий тепловой поток через нагревательный прибор. Поэтому, для моделирования влияния локального изменения температуры и расхода в нагревательном приборе был использован пакет программ CosmosFloWork на основе программного обеспечения SolidWork. Данная программа применяется для расчета гидро-, аэродинамических и тепломассообменных процессов используя уравнение неразрывности Навье-Стокса для вязкого идеального газа [2].

На оси эжектора выполняются условия симметрии и решаются уравнения энергии и движения для z-компоненты скорости. Решение задачи начинается с задания начальных условий и параметров задачи. Внутри области задаются однородные начальные условия для компонент скорости и температуры. Основываясь на этих теоретических данных, для исследования была создана компьютерная модель локального нагревательного прибора с эжектором (рис.1).

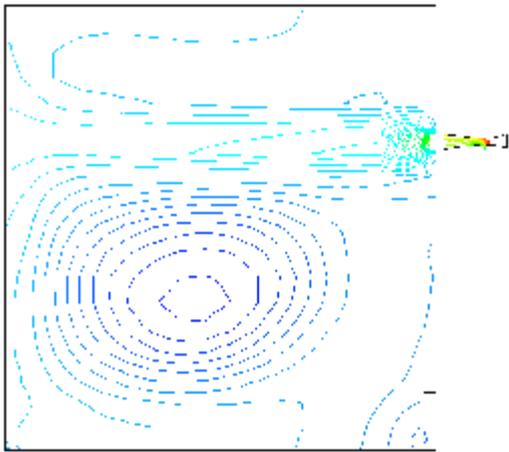


**Рис.1. Общий вид модели локального регулирования теплового потока от нагревательного прибора.**

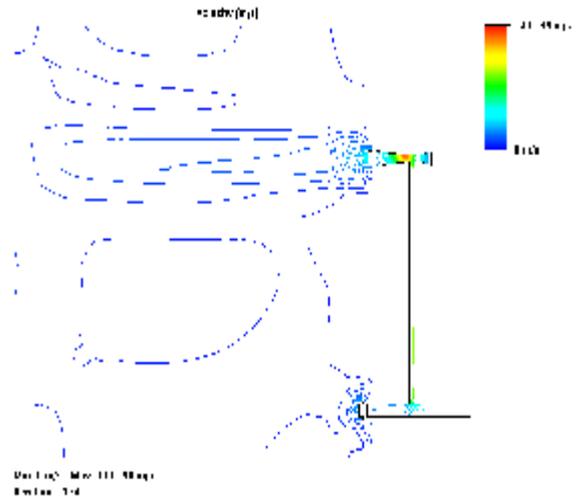
Варьировались следующие параметры:

- Расход теплоносителя через подающий трубопровод;
- Диаметр сопла эжектора;
- Расход теплоносителя эжектируемого потока;
- Температура и давление на входе и выходе из модели.

Результаты моделирования тепловых и гидравлических процессов при количественно-качественном регулировании теплоносителя в нагревательных приборах представлены на рис.2-3.



**Рис.2. Распределение теплоносителя в нагревательном приборе и эжектирующем устройстве при коэффициенте подмешивания 1.5.**



**Рис.3. Распределение теплоносителя в нагревательном приборе и эжектирующем устройстве при коэффициенте подмешивания 2.2.**

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Анализ представленных на графиках (рис.2-3) распределения теплоносителя по скорости и давлению при различных коэффициентах подмешивания показал, что изменение перепада давления между эжектирующей жидкостью и эжектируемой путем увеличения сопротивления в перемычке между подающим и обратным трубопроводами от 0 до 1,5 кПа при постоянной скорости жидкости в в подающем и обратном трубопроводах (1.5 м/с) позволяет изменить температуру входящего в нагревательный прибор от  $T_1$  до  $T_2$ , что соответствует при нулевом перепаде давления – эжекция отсутствует и нагревательный прибор дает максимальный тепловой поток с максимальным температурным напором. А при перепаде давления 1,5 кПа происходит запираение эжектора и теплоноситель поступает в нагревательный прибор с температурой  $T_2$ , что соответствует нулевому тепловому потоку и соответственно отсутствию нагрева помещения. Однако при этом сохраняется постоянство гидравлического режима остальной системы отопления, что позволяет не устанавливать балансировочные клапаны на каждые 6-8 нагревательных приборов. Анализ данных по изменению температуры, коэффициента турбулентности, числа  $Pr$  и теплового потока в эжекторе и нагревательном приборе по ходу движения теплоносителя показали, что основные пульсации по температуре, коэффициенту турбулентности и изменению теплового потока происходят на узком участке – в эжекторе и при входе в нагревательный прибор, что подтверждает гипотезу о применимости предложенного локального управления тепловым потоком в водяного системе отопления.

### Выводы

1. Предложена система водяного отопления с низкотемпературным теплоносителем на основе использования гидравлически изменяемого режима в нагревательных приборах с сохранением постоянного в остальной части системы и увеличения диапазона эффективной работы терморегуляторов, позволяющая снизить требуемое давление в системе отопления и капитальные затраты за счет уменьшения количества требуемых балансировочных клапанов в системе отопления.

2. Полученные теоретические данные о тепловых и гидравлических процессах в предложенной конструкции теморегулятора выявили практически линейный режим регулирования расхода теплоносителя и доказали возможность работы системы водяного отопления в постоянном гидравлическом режиме с изменением количественной и качественной характеристик теплоносителя только в нагревательных приборах.

3. Уточнена методика гидравлического расчета для систем водяного отопления с низкотемпературным теплоносителем на основе использования гидравлически изменяемого режима в нагревательных приборах с сохранением постоянного в остальной части системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нудлер Г.И., Тульчин И.К. Автоматизация инженерного оборудования жилых и общественных зданий. – М.: Стройиздат, 1988. – 223 с.
2. Свободноконвективные течения, тепло- и массообмен: Пер. с англ./ Герхарт Б., Джалурия И., Махаджан Р.Л., Саммакия Б. – М.: Мир, В 2-х книгах. Кн. 2., 1983. – 528 с.
3. Пырков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / В.В. Пырков. – К.: П ДП «Такі справи», 2007. – 251 с.
4. Грановский В.Л. Основные принципы конструирования и испытаний отопительных приборов со встроенными терморегуляторами / В.Л. Грановский // АВОК. – 2005. – №4. – С. 48-52.
5. Дзелтис Э.Э. Управление системами кондиционирования микроклимата: Справочное пособие / Э.Э. Дзелтис. – М.: Стойиздат, 1990. – 176 с.
6. Petitjean R. Total hydronic balancing: A handbook for design and troubleshooting of hydronic HVAC systems / R. Petitjean. – Gothenburg: TA AB, 1994. – 530 p.
7. Покотилов В.В. Регулирующие клапаны автоматизированных систем тепло- и холодоснабжения / В.В. Покотилов. – Вена.: фирма «HERZ Armaturen», 2010. – 176 с.
8. EN 215-1: 1987 Thermostatic radiator valves. Part 1. Requirements and test methods.
9. ГОСТ 30815-2002 МГС. Терморегуляторы автоматические отопительных приборов систем водяного отопления зданий. Общие технические условия. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2002
10. ГОСТ 14770-69 Устройства исполнительные. ГСП. Технические требования. Методы испытаний. – М.: Изд. Стандартов, 1988. – 10 с.
11. ГОСТ 28923-91 МГС. Регуляторы температуры, работающие без постороннего источника энергии. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2005.
12. Wytczne projektowania instalacji centralnego ogrzewania. – Warszawa.: COBRTI «INSTAL», «UNIA CIEPLOWNICTWA». – Supplement do wydania II. 1993. –, 1994. – 43 p.

**УДК 628.12:62-523**

### МЕТОДИКА И АНАЛИЗ ПОДБОРА НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПОДКАЧКИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**Николенко И.В., Котовская Е.Е.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

В работе выполнено технико-экономическое сравнение вариантов регулирования режимов работы систем «водопроводная сеть – насосная станция» с установкой водонапорной башни либо с применением аккумулирующих емкостей с регулируемыми насосами подкачки. Представлена методика расчета режимов регулирования таких систем. Приведен алгоритм подбора насосов, а также проанализирован диапазон допустимой степени изменения частоты вращения насоса

## **Аккумулирующие емкости, водонапорная башня, насосная станция подкачки, преобразователь частоты тока, резервуар чистой воды, подача, напор, КПД, изменение частоты вращения, рабочее колесо**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Регулирование режимов работы систем «водопроводная сеть (ВС)– насосная станция (НС)» обеспечивает требуемую подачу с заданным напором, а также экономию материальных и энергетических ресурсов. Водопотребление в централизованных системах водоснабжения (СВ) является нестационарным случайным процессом, что обуславливает сложности регулирования режимов работы насосных агрегатов. Аккумулирующие емкости НС - запасные и регулирующие - способствуют повышению надежности работы СВ, а также позволяют уменьшить диапазон регулирования параметров, обеспечить более равномерную работу насосных агрегатов, так как отпадает необходимость в подаче ими пиковых расходов. Это позволяет уменьшить диаметр внутренних и транзитных магистралей ВС, а следовательно их стоимость строительства, эксплуатации и ремонта.

Для снижения неравномерности режимов работы насосных агрегатов в СВ населенных пунктов, отдельных жилых кварталов одним из часто применяемых технических решений является применение аккумулирующих емкостей с установкой водонапорных башен (ВБ) [1]. Оборудование этих сооружений также должны обеспечивать необходимый свободный напор в сети при заданных режимах водопотребления. Поэтому основой расчёта ВБ является определение ее аккумулирующей емкости и высоты.

Конструкции ВБ детально проработаны, имеются типовые проекты на объемы в диапазоне 100...300 м<sup>3</sup> и высоты в диапазоне 15...36 м. Применение ВБ на практике, особенно при больших объемах и высотах, связано как со сложностями монтажа, ремонта и эксплуатации, так и приводит к повышенным техноэкологическим рискам в связи со значительной парусностью металлоконструкций, возможностью их деформаций, коррозии и т.д.

Основными направлениями совершенствования СВ является все большее применение современных видов высокоэффективного насосного оборудования, а также систем регулирования. Современные автоматизированные системы управления позволяют существенно расширить возможности по регулированию рабочих параметров и характеристик насосных агрегатов. Применение преобразователей частоты тока (ПЧТ) для приводных электродвигателей насосных агрегатов позволяет в широких пределах изменять их частоту вращения, чем обеспечивает регулирование режимов работы системы «ВС – НС». В связи с этим появляются новые технические возможности и решения по снижению неравномерности режимов работы насосных агрегатов в СВ с повышением их энергетической эффективности. Одним из вариантов такого решения является размещение в необходимом месте сети дополнительных резервуаров чистой воды (РЧВ) с установкой насосных агрегатов с регулированием их частоты вращения. Рациональный выбор насосного оборудования таких повысительных НС (ПНС), режимов их работы требует обоснование новых методик расчета при проектирования.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Насосные агрегаты НС в СВ являются наиболее ответственными элементами, основными потребителями энергетических ресурсов, которые обеспечивают подачу необходимого количества воды под требуемым напором в соответствии с действующими нормами и правилами [2]. Состав сооружений НС, агрегатов, их конструктивные особенности, тип и число основного и вспомогательного оборудования определяются исходя из принципов рационального использования воды, а также минимизации стоимости строительства СВ и ее эксплуатации с учётом назначения и предъявляемых к ней технологических требований [1]. Наряду с обеспечением требуемого напора и подачи

воды для нормальных и аварийных условий, на всех этапах жизненного цикла НС, необходимо обеспечивать требуемую степень надёжности.

Снижение ресурсо- и энергоёмкости является одной из основных проблем для СВ. Разработке новых конструкций и технологических процессов для решения этой проблемы в технической литературе посвящено значительное количество работ [3, 4, 5]. В работах Лезнова Б. С. [6], Николаева В. Г. [7], Черносвитова М. Д. [8, 9], Бойко В. С., Сотника М. И., Хованского С.А. [4, 5, 10], зарубежных исследователей [11 - 13]. В этих работах описаны подходы к повышению энергетической эффективности насосного оборудования СВ путем регулирования режимов работы агрегатов и согласования характеристик насоса и СВ с учетом условий их эксплуатации. Во всех вышеприведенных работах работа ПНС рассматривается в рамках системы ВС – насосный агрегат. В работах [8, 9] установлено, что применение ПЧТ не всегда дает значительное снижение энергопотребления, что связано прежде всего, с необходимостью увязки характеристик ВС с напорными характеристиками насосных агрегатов. В большинстве вышеприведенных работ при выборе параметров регулирования системы НС – ВС практически не учитываются энергетические характеристики агрегатов по КПД. Поэтому выбранные параметры системы при регулировании могут выйти из диапазона допустимых значений снижения КПД, а применение ПЧТ, которое требует дополнительных затрат, приведет к суммарным отрицательным результатам. В связи с этим, применение регулируемых приводов на основе ПЧТ создает только частичную возможность реализации экономических обоснованных способов изменения режимов работы насосов.

В вышеприведенных исследованиях практически не рассматриваются процессы, связанные с работой регулируемых насосных агрегатов и аккумулирующих емкостей, а также методы выбора их рациональных конструктивных параметров и режимов работы. При этом ПНС с РЧВ имеют значительный потенциал энергосбережения, но экономическая эффективность внедрения регулируемого привода насосных агрегатов зависит от многих факторов, которые необходимо учитывать.

В нормативно-технической литературе по проектированию СВ до настоящего времени отсутствуют методики обоснованию параметров ПНС с регулируемыми приводами насосных агрегатов, а также рекомендации по обоснованию рациональных режимов их работы с учетом условий эксплуатации систем ВС-НС. На практике продолжается применение устаревших конструктивных решений по регулированию режимов работы систем ВС– НС с установкой ВБ. Поэтому необходима разработка методики расчета ПНС с регулируемым приводом насосных агрегатов, которые работают совместно с РЧВ и ВС. Создание такой методики позволит максимально использовать потенциал энергосбережения СВ населенных пунктов при их модернизации и проектировании. Например, на территории г. Симферополя установлено 22 ПНС вместе с РЧВ. Диапазон потребляемых мощностей насосами ПНС составляет 15...200 кВт.

Следует отметить, что решение технических задач, связанных с разработкой новых конструкций и технологических процессов для повышения энергетической эффективности СВ имеет как технико-экономическую составляющую, которая выражается в денежных единицах, так и эколого-социальные последствия, а именно улучшение условий жизни людей, за счет гарантированного качества водоснабжения, уменьшение экологической нагрузки на окружающую среду, а также повышение надежности работы систем водоснабжения.

#### **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Цель работы – экспериментально-теоретическое обоснование параметров и режимов работы ПНС с РЧВ для регулирования СВ и разработка на его основании рекомендаций для разработки методики выбора насосных агрегатов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующее:

- провести статистический анализ экспериментальных данных по подачам воды в действующую сеть;

- определить величину регулирующей емкости РЧВ для системы НС – ВС;
- провести технико-экономический анализ параметров ВБ;
- подобрать насосные агрегаты НС подкачки для обеспечения возможных режимов водопотребления;
- определить диапазон изменения частоты вращения привода насосного агрегата в диапазоне допустимых значений КПД.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

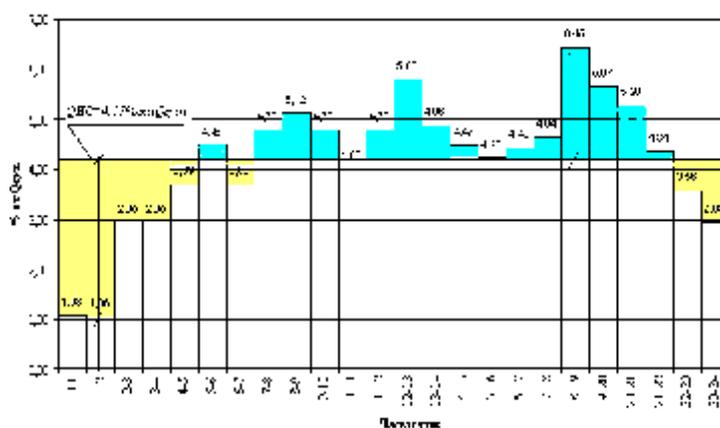
В качестве примера рассмотрена ПНС для СВ микрорайона «Новый поселок» в г. Саки с максимальным суточным водопотреблением  $Q_{сут, max} = 3510 \text{ м}^3$ . После построения ступенчатого (рис. 1) и интегрального (рис. 2) графиков водопотребления выполнен гидравлический расчет сети, в результате которого определены необходимый свободный напор в диктующей точке, свободные напоры в узловых точках и расходы на участках ВС.

Для действующей НС второго подъема с аккумулирующими емкостями и установкой ВБ в самой высокой точке населенного пункта, определена емкость бака ВБ, который в данной СВ является контррезервуаром хозяйственно-противопожарного водопровода. Поэтому емкость бака должна содержать кроме регулирующего объема для компенсации неравномерности расхода воды в течение суток, также неприкосновенный противопожарный запас. Полный объем бака ВБ определяют по формуле [1]:

$$W_{в.б.} = W_p + W_n, \quad (1)$$

где  $W_p$  – регулирующий объем бака ВБ,

$W_n$  – неприкосновенный противопожарный запас.



**Рис. 1. Ступенчатый график водопотребления микрорайона в течении суток**

Регулирующий объем бака ВБ определяется по зависимости:

$$W_p = \left( \frac{|a| + |b|}{100} \right) \cdot Q_{сут, max}, \quad (2)$$

где  $|a|$ ,  $|b|$  – наибольшие значения превышения и недостачи часовой подачи насосных агрегатов в ВС по отношению к среднему водопотреблению в %, которое составляет  $\frac{100\%}{24} = 4,17\%$ .

Для объекта исследования регулирующий объем определен по интегральному графику водопотребления, который представлен на рис. 2.

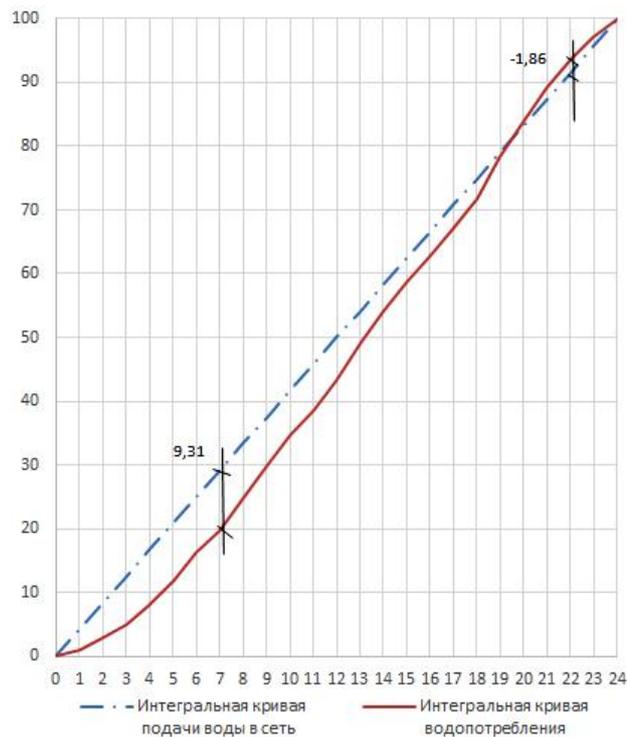
$$W_p = \left( \frac{|9,31| + |1,86|}{100} \right) \cdot 3510 = 392 \text{ м}^3$$

Объем неприкосновенного противопожарного запаса [2]

$$W_{пож} = T \cdot n \cdot (q_{нар} + q_{вн}) \cdot 3,6; \quad (3)$$

где  $T$  – время тушения пожара;  $n$  – число пожаров в соответствии;

$q_{нар}$  – расход воды на пожаротушение одного наружного пожара;  
 $q_{вн}$  – расход воды на один внутренний пожар.



**Рис. 2. Интегральный график водопотребления микрорайона в течении суток**

Для рассмотренного микрорайона города  $W_{пож} = 10 \text{ м}^3$

С учетом (1), объём бака ВБ

$$W_{в.б.} = 392 + 10 = 402 \text{ м}^3 .$$

Высота ВБ определяется по зависимости [1]:

$$H_{в.б.} = H_{св} + \sum h + Z_{д.т.} - Z_{в.б.} , \quad (4)$$

где  $H_{в.б.}$  – высота ВБ от уровня земли до дна бака;

$H_{св}$  – необходимый свободный напор в диктующей точке;

$\sum h$  – сумма потерь напора в сети от башни до диктующей точки;

$Z_{д.т.}$  – геодезическая отметка диктующей точки;

$Z_{в.б.}$  – геодезическая отметка поверхности земли в месте расположения ВБ.

По геодезическим данным для рассмотренной системы ВС микрорайона определена высота ВБ  $H_{а.а.} = 42 + 0,33 + (10 - 9) = 43,33 \text{ м}$  .

Таким образом, для регулирования работы системы ВС – НС в рассматриваемом микрорайоне города необходима ВБ емкостью  $400 \text{ м}^3$  и высотой  $44 \text{ м}$ . В каталоге типовых проектов на ВБ нет такой емкости бака и высоты для стандартных конструктивных решений [16]. Оценим стоимость ВБ с найденными параметрами методами регрессионного анализа. Для этого выполним полиномиальную аппроксимацию данных по зависимости стоимости ВБ от ее высоты в м и от емкости в  $\text{м}^3$ , которые показаны на рис. 3. При этом зависимость на рис.3а соответствует зависимости по аппроксимации стоимости ВБ емкостью  $W = 300 \text{ м}^3$  при ее различных высотах. Зависимость на рис.3б соответствует зависимости по аппроксимации стоимости ВБ при постоянной высоте  $h = 24 \text{ м}$  при различных объемах аккумулирующей емкости.

Для оценки стоимости ВБ от ее высоты (h) и объема (W) выполним выравнивание приведенных функций при помощи метода наименьших квадратов [17]. В результате, получено аналитическое выражение для определения стоимости ВБ с индексом корреляции  $r = 0,998$  [17]:

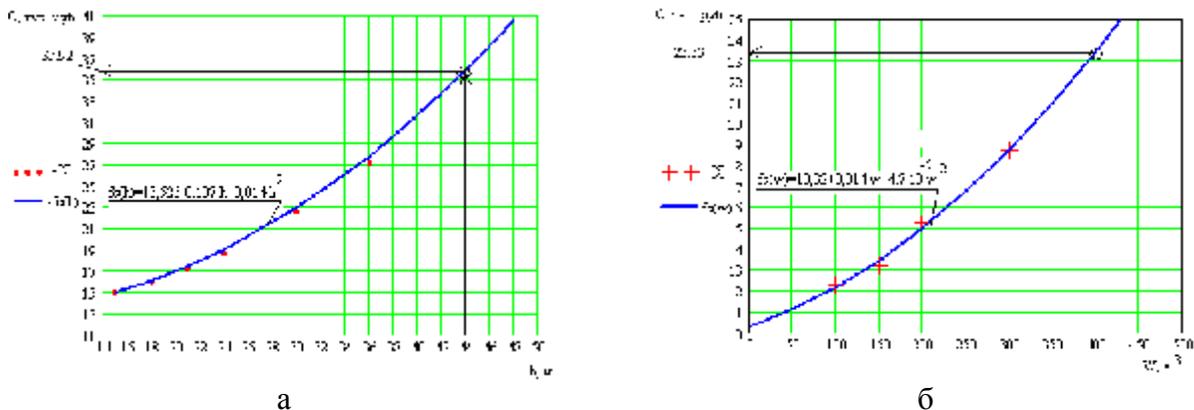
$$C(h,W) = 3,7 + 0,014(h - 3,8)^2 + 4,74 \cdot 10^{-5}(W + 148,9)^2. \quad (5)$$

С учетом зависимости (5) определим, что стоимость строительства ВБ объемом 400 м<sup>3</sup> и высотой 44 м, в ценах 1984 года составит 40,6 тыс. руб..

Определим стоимость строительства РЧВ с ПНС, с тем же объемом аккумулирующей емкости. В соответствии требованиями ДБН [2] общее количество резервуаров одного назначения в узле должно быть не менее 2.

$$W_{РЧВ1} = \frac{W_{РЧВ}}{2} = \frac{402,66}{2} = 201,33 \text{ м}^3.$$

По типовому проекту ТП 4-18-841 принимаем резервуар габаритами 6x12x3,6 м. Общая сметная стоимость составляет при высоте утепления 0,7 м - 5,25 тыс. руб.: СМР 4,77 тыс. руб., оборудование 0,48 тыс. руб. Общая сметная стоимость НС подкачки производительностью до 100 м<sup>3</sup> по ТП 901-2-157.13.87 [18] составляет 16,12 тыс. руб., в том числе СМР 13,57 тыс. руб., оборудование 2,55 тыс. руб. Тогда суммарная стоимость строительства двух РЧВ и ПНС в ценах 1984 года составит **26,6** тыс. руб. Таким образом, стоимость строительства РЧВ с ПНС меньше стоимости строительства ВБ в 1,5 раза.



**Рис. 3. Обобщающие кривые стоимости ВБ: а – для емкости 300 м<sup>3</sup> при различных высотах; б - для ВБ высотой 24 м с различными емкостями**

При схеме с ВБ регулирование подачи СВ обеспечивается основными насосами с электродвигателями большой мощности. При установке ПНС с РЧВ насосные агрегаты работают на меньших подачах, так как компенсируют только отклонение подач от водопотребления за счет забора воды из РЧВ, поэтому имеют двигатели со значительно меньшей мощностью.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

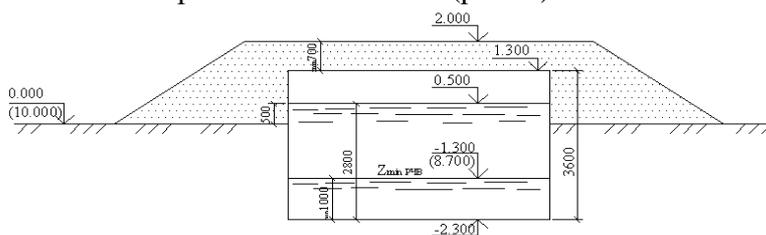
Проанализируем работу ПНС при различных эксплуатационных условиях, и определим допустимый диапазон регулирования подачи, путем изменения частоты вращения рабочего колеса. Для подбора насосных агрегатов для ПНС по ступенчатому графику водопотребления (рис. 1) выделим периоды времени, в которые в ВС подаются дополнительные расходы воды, при которых подача основных насосов меньше водопотребления. Выделены на рис. 1 периоды времени в часах: 5-6, 7-10, 11-16 и 17-22. Диапазон изменения относительной подачи насосов в % от  $Q_{сут}$  изменяется от 0,07 до 2,28%, что составляет в абсолютном значении подачи от 2,45 до 80,05 м<sup>3</sup>/ч. Для обоснования режимов работы насосных агрегатов внесем в табл. 1 по часам суток, значения подач в % от  $Q_{сут}$  и расход в м<sup>3</sup>, которые необходимо дополнительно подать в ВС микрорайона.

Требуемый напор насосов ПНС определяется по формуле:

$$H_n = H_{св} + \sum h + Z_{от} - Z_{\min РЧВ},$$

где  $\sum h$  - сумма потерь напора в сети от ПНС до диктующей точки;

$Z_{\min \text{ РЧВ}}$  - геодезическая отметка минимального уровня воды в РЧВ, которая находится по высотной схеме расположения РЧВ (рис. 4)



**Рис. 4. Высотное расположение РЧВ.**

По абсолютным значениям подачи насосов в сеть и требуемому напору подбираются типоразмеры насосных агрегатов для ПНС. В рассматриваемом примере приняты насосные агрегаты *Calpeda N32-200* для подач в диапазоне 6,6...18,9 м<sup>3</sup>/ч с напором 46...57 м и насосные агрегаты *Etanorm 40-200* для подач 20...60 м<sup>3</sup>/ч с напором 36...54 м. Оценку энергетической эффективности режимов работы насосных агрегатов ПНС выполним по их характеристикам КПД в %. 0

Выбор режимов работы насосных агрегатов ПНС выполним на основе анализа значений подач по забору воды из РЧВ, которые представлены в табл. 1. Наибольший забор воды соответствует периоду времени 18-19 часов и составляет 80,05 м<sup>3</sup>/ч. В соответствии с требованиями ДБН насосов одного назначения должно быть не менее 2 [2], поэтому подача насоса:

$$Q_n \geq \frac{2,28 \cdot Q_{\text{сут}}}{100 \cdot n} = \frac{2,28 \cdot 3510,91}{100 \cdot 2} = 40,025 \text{ м}^3 / \text{ч},$$

где n – количество рабочих насосов.

**Таблица 1**

**Определение регулирующих подач в сеть и режимы работы агрегатов ПНС**

Часы суток	Забор воды из РЧВ, %	Подача насосами ПНС в сеть	КПД, %	Количество и тип работающих насосов
5-6	0,31	10,88	-	1 Calpeda N32-200
7-8	0,61	21,41	48	1 Etanorm 40-200
8-9	0,95	33,35	62	1 Etanorm 40-200
9-10	0,61	21,41	48	1 Etanorm 40-200
11-12	0,62	21,76	48	1 Etanorm 40-200
12-13	1,64	57,57	52	<b>2 Etanorm 40-200</b>
13-14	0,70	24,57	48	1 Etanorm 40-200
14-15	0,31	10,88	-	1 Calpeda N32-200
16-17	0,27	9,47	-	1 Calpeda N32-200
17-18	0,48	16,85	-	1 Calpeda N32-200
18-19	2,28	80,05	62	<b>2 Etanorm 40-200</b>
19-20	1,50	52,66	50	<b>2 Etanorm 40-200</b>
20-21	1,11	38,97	62	1 Etanorm 40-200
21-22	0,17	5,96	69	1 Calpeda N32-200
Всего	11,63			

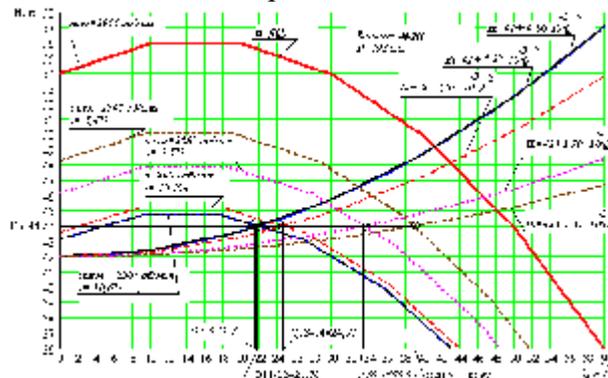
Данным условиям по подаче  $Q_{18-19} = 40,025 \text{ м}^3 / \text{ч}$  и напору  $H=44$  м, удовлетворяет насос *Etanorm 50-200* с номинальной частотой вращения рабочего колеса  $n=2900$  об/мин при КПД=62%. Для обеспечения минимальных подач ПНС в период времени 21-22 часа требуется насос с подачей  $Q_{21-22} = 5,96 \text{ м}^3 / \text{ч}$  и  $H=44$  м, данные условия может обеспечить насос марки *Calpeda N32-200A*, частотой вращения рабочего колеса  $n = 2900$  об/мин, при КПД=69%. режимов работы насосных агрегатов ПНС

С учетом требований ДБН [2] для ПНС принимаем 2 рабочих насоса *Etanorm 40-200*, 1 противопожарный и 1 резервный этой марки. Для обеспечения минимальных подач принимаем 1 рабочий насос *Calpeda N32-200A* и 1 резервный, который находится на

складе. Режимы работы насосных агрегатов ПНС для рассмотренной системы водоснабжения микрорайона города представлены в табл. 1.

Проанализируем влияние изменения частоты вращения рабочего колеса на характеристики выбранных насосных агрегатов по методике, описанной в [22], которая разработана на основе теории подобия лопастных машин [20].

На основе формул подобия для выбранных насосов при различных частотах построим характеристики насоса и сети при различных режимах водопотребления, которые приведены на рис. 5 и 6. На практике целесообразно выбирать режимы регулирования, при которых обеспечивается требуемый диапазон параметров при наибольшем КПД и при минимальных затратах.



**Рис. 5. График совместной работы системы «насос - водовод» при различных частотах вращения рабочего колеса, и различных сопротивлениях трубопровода**

При изменении частоты вращения, границы рабочего поля насоса по подаче выбираются по его энергетической характеристике из условий, ограничения допускаемых значений КПД

$$h_{\text{дн}} = (0,85 \dots 0,95) \cdot h_{\text{max}}, \quad (6)$$

либо

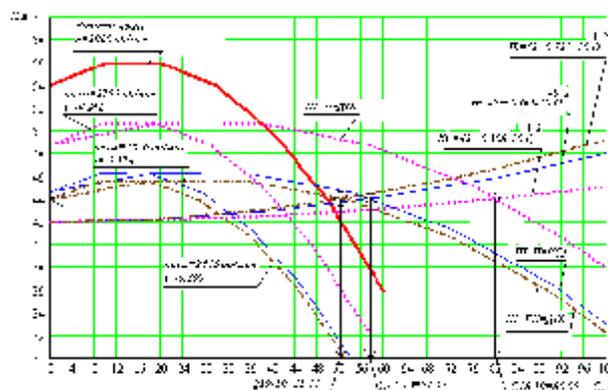
$$h_{\text{дон}} = h_{\text{max}} - \Delta h, \quad (7)$$

где  $h_{\text{max}}$  – максимальное значение КПД,

$\Delta h = 10 \dots 15\%$  - допускаемое значение уменьшения КПД.

С учетом вышеуказанного, алгоритм определения границ рабочего при частотном регулировании выполняется в следующей последовательности.

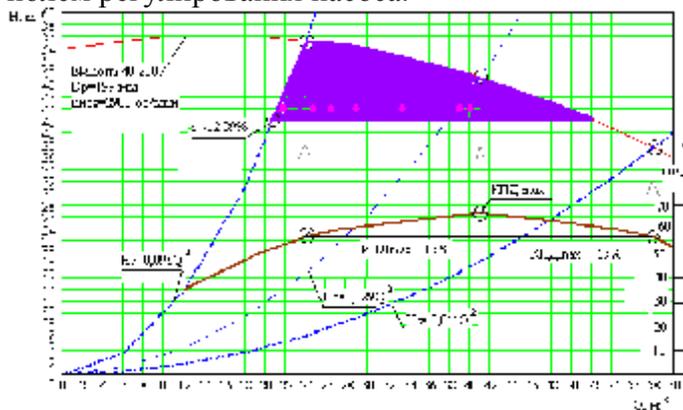
- на энергетической характеристике насоса  $h = f(Q)$  при номинальной частоте вращения от значения  $h_{\text{max}}$  отложить в обе стороны допускаемое уменьшение КПД  $\Delta h$  %, и для полученных точек определить граничные подачи  $Q_{\text{max}}$ ,  $Q_{\text{min}}$ ;



**Рис. 6. График совместной работы системы «насос - водовод» при различных частотах вращения рабочего колеса, и различных сопротивлениях трубопровода при параллельном соединении двух насосов**

- по значениям  $Q_{\max}$ ,  $Q_{\min}$  на напорной характеристике  $H=f(Q)$  при номинальной частоте вращения, определить граничные напоры  $\dot{I}_{\max}$  и  $\dot{I}_{\min}$ ;
- построить параболы подобных режимов, которые проходят через граничные рабочие точки;
- по расчетному значению напора на выходе насоса  $\dot{I}_i$  проводится линия допускаемого статического напора.

Полученная фигура, представлена на рис. 7, ограничена сверху исходной характеристикой насоса, снизу допускаемым статическим напором, слева и справа участками парабол подобных режимов, которые проходят через граничные рабочие точки является допустимым полем регулирования насоса.



**Рис. 7. Схема для определения оптимального поля для подбора насосного оборудования по критерию энергоэффективности при частотном регулировании**

В точках пересечения парабол подобных режимов и граничного статического напора по формулам пропорциональности определяется допускаемое значение снижения частоты вращения. Применительно к рассмотренному случаю максимально возможное снижение частоты вращения составит  $i = 12,9\%$ .

#### Выводы

По технико-экономическим показателям показаны преимущества применения ПНС с регулируемым насосами по сравнению с установкой ВБ для регулирования режимов работы систем ВС – НС.

Приведена методика расчета параметров аккумулирующей емкости системы ВС – НС с установкой ПНС, а также методика подбора для них насосных агрегатов.

Представлен алгоритм построения рабочего поля для регулируемого по частоте вращения насосного агрегата для ПНС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карелин В.Я. Насосные и насосные станции. – М.: Стройиздат, 1996. – 146 с.
2. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. ДБН В.2.5-74:2013.
3. Хроменков С.В. Задачи развития водной отрасли для обеспечения населения России чистой водой // Водоснабжение и санитарная техника, 2011, № 5. – С. 15 – 22.
4. Бойко В.С., Сотник Н.И., Сотник И.Н. Энергоэффективная насосная станция третьего подъема. // «Техническая термодинамика» 2005, № 3. – С. 62 – 65.
5. Евтушенко А.А., Зинченко В.В., Сотник Н.И., В.С. Бойко В.С. Методика энергетического обследования и адаптация насосного оборудования действующих гидравлических сетей. // Вісник СумДУ Технічні науки. - №5, 2006 р. - С. 46-58.
6. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006, – 359 с.
7. Николаев В.Г. Энергосберегающие способы управления лопастными насосными агрегатами в системах водоснабжения при нестационарной нагрузке // Сантехника. 2006., № 4. – С.22 - 28.

8. Шмиголь В.В., Черносивтов М.Д., Атанов Н.А. Интегральное регулирование работы повысительных насосов // Водоснабжение и санитарная техника. - 2013, № 8. – С. 23 – 27.
9. Черносивтов М.Д. Энергетическая эффективность интегрального регулирования работы повысительных насосов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2013, № 4. – С. 96 – 99.
10. Бойко В.С., Сотник М.І., Хованський С.О. /Підвищення енергетичної ефективності водопостачання локального об'єкту // Промислова гідраліка і пневматика. Випуск 1(19). - 2008. – С. 100- 103.
11. Noll P. Determining the real cost of powering a pump // World Pumps. 2008, Iss. 496. – P. 32 - 34.
12. Wharton S.T.; Martin P.; Watson T.J. Pumping stations: design for improved buildability and maintenance. London: Construction Industry Research and Information Association, CIRIA Report № 182, 1998. – 99 p.
13. Hydraulics. Hydraulic machines./ E. Krasowski, I. Nikolenko, A. Dashchenko, J Glinski, S. Sosnowski.// Lublin: PAN OL, 2011. – 355 p.
14. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. ДБН В.2.5-64:2012.
15. Залуцкий Э.В., Петрухно А.И., 1987. Насосные станции. Курсовое проектирование – К.: Вища шк. – 167 с.
16. Каталог типовых проектов зданий и сооружений водоснабжения Сборник паспортов 2.901-79. Том 3. Резервуары для воды, водонапорные башни, градирни, прочие здания и сооружения. - К.: ЦИТП Госстроя СССР: Киевский филиал, 1979. – 187 с.
17. Вознюк С.Т. Основы научных исследований – К.: Вища школа, 1985. – 192 с.
18. Каталог типовой проектной документации для строительства зданий и сооружений водоснабжения. Том 2. Насосные станции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1991. – 250 с.

**УДК 66.074**

## **ТЕПЛООБМЕННИК В ВИДЕ ШАРА**

**Хван В.С.**

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*

В данной работе представлен принципиально новый, эффективный, компактный теплообменный аппарат, который может быть использован в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Разработан теплообменный аппарат, состоящий из корпуса в виде шара, внутри которого закреплены горизонтальные металлические перегородки, последние имеют форму круга разного диаметра, и делят внутренний объем теплообменника на неодинаковые по размеру объемные сегменты. В нечетные по нумерации (в направлении сверху-вниз) сегменты через подающее устройство закачивается холодная вода, а в четные - горячая вода, через соответствующие подающее устройство. Горячая и холодная вода внутри аппарата контактируют друг с другом через горизонтальные перегородки и между ними происходит теплообмен, при этом холодная вода нагревается и выводится наружу через выводящее устройство, а горячая вода охлаждается и также выводится из аппарата через соответствующие выводящее устройство.

**Аппарат, система, отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, корпус, перегородка, полость, трубка, теплообмен, эффективность, шар, круг, диаметр, вода, устройство**

## **ВВЕДЕНИЕ**

Снижению материалоемкости и упрощению конструкции теплообменных аппаратов уделяется в настоящее время очень большое внимание со стороны разработчиков и проектантов технологического оборудования.

Процесс теплообмена между двумя средами типа вода-вода в теплообменных аппаратах имеет ключевое значение для систем отопления, так как позволяет увеличить степень нагрева низкотемпературного теплоносителя и сократить непроизводительные потери тепла.

Достаточно большое количество известных конструкций теплообменников обладают такими существенными недостатками как сравнительно высокая материалоемкость, сложная и громоздкая конструкция аппарата.

## **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Известен шарообразный теплообменный аппарат, выполненный в виде шара, внутри которого размещены шарообразные металлические перегородки различных диаметров, причем перегородки установлены таким образом, что центры шаров совпадают в одной точке, при этом сферические поверхности перегородок внутри аппарата не пересекаются, а располагаются параллельно друг к другу в направлении от наружной поверхности теплообменника к его центру [1].

Однако известный аппарат обладает достаточно сложной конструкцией и высокой материалоемкостью.

## **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Цель работы.** Снижение материалоемкости и упрощение конструкции аппарата при сопоставимых технических и технологических параметрах конструкции теплообменника и теплоносителей.

**Поставленная цель** достигается за счет изменения конструкции теплообменника. Конструкция теплообменника имеет форму шара, внутренний объем которого разделен на горизонтальные объемные сегменты, с помощью горизонтальных металлических перегородок, имеющих форму круга различного диаметра и закрепленные внутри корпуса аппарата. Для подачи и вывода теплоносителя в аппарате используются специальные подающие и отводящие устройства.

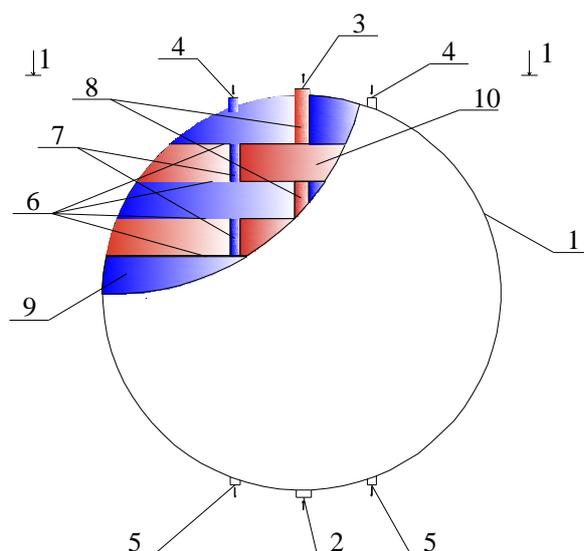
**Задачи.** Теплообменник выполнен в форме шара, внутри которого закреплены горизонтальные металлические перегородки, последние имеют форму круга разного диаметра, и делят внутренний объем теплообменника на неодинаковые по размеру объемные сегменты. В нечетные по нумерации (в направлении сверху-вниз) сегменты через подающее устройство закачивается холодная вода, а в четные - горячая вода, через соответствующие подающее устройства. Горячая и холодная вода внутри аппарата контактируют друг с другом через горизонтальные перегородки и между ними происходит теплообмен, при этом холодная вода нагревается и выводится наружу через выводящее устройство, а горячая вода охлаждается и также выводится из аппарата через соответствующие выводящее устройство.

## **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Для решения поставленных задач сравнивались конструктивные особенности теплообменника, в частности, аналога. Оценивались недостатки известного аппарата, в результате сформировалось новое конструктивное решение теплообменника.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

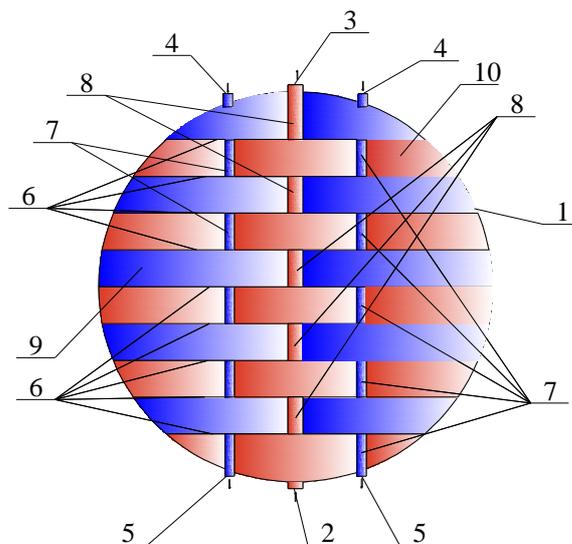
На рис. 1 представлена конструкция теплообменного аппарата.



**Рис. 1. Конструкция теплообменника:**

**1 – Корпус аппарата. 2- Устройство для подачи горячей воды. 3 - Устройство для отвода охлажденной воды. 4 – Устройство для подачи холодной воды. 5 – Устройство для отвода нагретой воды. 6 – Металлические перегородки. 7 – Металлические патрубки для перелива холодной воды. 8 – Металлические патрубки для перелива нагретой воды. 9 – Холодная вода. 10 – Горячая вода.**

На рис. 2 представлен разрез теплообменника по линии 1-1.



**Рис. 2. Разрез теплообменника по линии 1-1**

Конструкция пылеуловителя включает: корпус аппарата 1, внутри которого закреплены шарообразные металлические перегородки 6, образующие горизонтальные полости, предназначенные для заполнения различных температурных сред (холодная и горячая вода), в нижней части корпуса 1 установлено устройство для подачи горячей воды 2, напротив него в верхней части корпуса 1 установлено устройство для отвода охлажденной воды 3, по бокам от устройства 3 расположены устройства для подачи холодной воды 4, а по бокам устройства 2 расположены устройства для отвода нагретой воды 5. Для перетока холодной воды 9 внутри аппарата между нечетными полостями (направление сверху-вниз) установлены металлические патрубки 7, в свою очередь для перетока горячей воды 10 внутри аппарата между четными полостями (направление сверху-вниз) установлены металлические патрубки 8.

Теплообменник работает следующим образом. С помощью устройства для подачи горячей воды 2 и далее через патрубки 8 горячая вода 10 поступает в четные полости аппарата и заполняет их. Одновременно, происходит заполнение нечетных полостей аппарата с помощью устройства для подачи холодной воды 4 и далее через патрубки 7. Холодная вода 9, размещенная в нечетных полостях, контактирует с горячей водой 10, размещенной в четных полостях через металлические перегородки 6 и между ними происходит теплообмен. Причем надо заметить, что холодная вода 9 будет нагреваться с двух четных сторон, примыкающей к ней, в результате холодная вода 9 будет нагреваться в нечетных полостях, получая тепло, а горячая вода 10 будет охлаждаться в четных полостях, отдавая тепло. После этого охлажденная вода выводится из аппарата из четных полостей через устройство для отвода охлажденной воды 3. В свою очередь, вода, нагретая в аппарате, выводится через устройство для отвода нагретой воды 5. Увеличивая температуру горячей воды 10 и ее расход на входе в аппарат, мы будем получать больше нагретой воды с более высокой температурой на выходе из аппарата, при прочих равных условиях.

Использование сферических шарообразных металлических перегородок в аппарате аналоге потребуют на свое изготовление значительно большего расхода материала (стального листа), чем горизонтальные плоские круглые металлические перегородки в разработанном образце. При этом достигается упрощение конструкции аппарата, прежде всего за счет того, что сферические шарообразные металлические перегородки в аналоге выполнить гораздо сложнее, для этого потребуется специальное оборудование, оснастка, навыки и профессионализм.

### **Выводы**

Разработанный теплообменный аппарат позволяет:

- 1.) Обеспечить двусторонний нагрев холодной воды горячей водой.
- 2.) Увеличить площадь теплопередающей поверхности на 25-30%, при прочих равных условиях.
- 3.) Повысить эффективность теплообмена между средами с различными температурными потенциалами.
- 4.) Производительность аппарата.
- 5.) Увеличить емкость аппарата.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Хван В.С. Шарообразный теплообменник. / Сб. научн. трудов НАПКС «Строительство и техногенная безопасность», Вып. № 45, 2013, С. 137-140.

Збірник наукових праць  
«Будівництво та техногенна безпека»  
51/2014

Сборник научных трудов  
«Строительство и техногенная безопасность»  
51/2014

Под общей редакцией докт. техн. наук В.Т. Шаленного  
Технический редактор Т.И. Пчелинцева

Компьютерная верстка

К.А. Янушковский

Формат 60x84/8. Ум. друк. арк. 15,6. Наклад 250 пр. Зам. № 21.