

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ РФ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
**СТРОИТЕЛЬСТВО**

Научно-теоретический журнал  
Издается с марта 1958 г.  
Выходит один раз в месяц

№ 2 (662)  
Февраль 2014 г.

Главный редактор В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.

Редакционная коллегия:

А.А. Афанасьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.  
В.Л. Баладинский, д-р техн. наук, проф.  
В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.  
П.А. Дмитриев, д-р техн. наук, проф.  
В.А. Игнатьев, д-р техн. наук, проф.  
В.И. Костин, д-р техн. наук, проф. (зам. гл. редактора)  
Г.Б. Лебедев, канд. техн. наук, доц. (зам. гл. редактора)  
Е.М. Лобанов, д-р техн. наук, проф.  
Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.  
В.И. Морозов, д-р техн. наук, проф.  
Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф.  
Ю.П. Правдивец, д-р техн. наук, проф.  
В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.  
Ю.А. Феофанов, д-р техн. наук, проф.  
Е.М. Чернышов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

Адрес редакции:

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113  
Тел./факс +7 (383) 266 28 59  
[www.sibstrin.ru](http://www.sibstrin.ru) E-mail: [izvuz\\_str@sibstrin.ru](mailto:izvuz_str@sibstrin.ru)

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 28.02.14. Формат 70×108 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Усл. печ. л. 9,80+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 5303

ООО «Партнеры Сибири»,  
630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2014

**СОДЕРЖАНИЕ**

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

**Хархардин А.Н., Строкова В.В., Кожухова Н.И.** Принципы атомной упаковки кластеров и топологические состояния поверхностных слоев безлигандных нано- и микрочастиц. Часть 1 ..... 5

**Фокин Г.А., Вилкова Н.Г., Гуськов А.С.** Влияние размеров частиц и их массового содержания в исходной суспензии на прочность цементного камня ..... 11

**Зырянова В.Н., Бердов Г.И., Верещагин В.И., Коцупало Н.П., Рябцев А.Д.** Композиционные магнезиальные вяжущие и строительные материалы из природных высокоминерализованных поликомпонентных рассолов ..... 17

**Безбородов В.Г., Меденцов Л.Ф., Меденцова Н.Л.** Влияние механоактивации сырьевой смеси и степени дисперсности флюсующего компонента на структуру и свойства пенокерамики на основе суглинка ..... 26

**ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Волков С.В., Шведов В.Н.** Влияние организационно-

технологических решений на уровень качества строительства и безопасность возводимых зданий .....	32
<b>Мосаков Б.С., Щепотин Г.К.</b> Повышение организационно-технологической надежности процесса обеспечения безопасности транспортного потока .....	40
<b>САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА</b>	
<b>Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И.</b> Разработка способов снижения объема аспирации при перегрузках сыпучих материалов ковшовыми элеваторами. С о б щ е н и е 1. Особенности расчетной схемы аспирации элеваторных перегрузок .....	46
<b>Костин В.И.</b> Выбор параметров наружного воздуха для переходных условий при расчете систем климатизации .....	57
<b>Мансуров Р.Ш.</b> Интеграция энергосберегающего оборудования в многофункциональное устройство обработки воздуха .....	61
<b>Самарин О.Д.</b> Вероятностно-статистическое обоснование параметров охладительного периода .....	67
<b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ</b>	
<b>Виноградов А.Б., Ломухин В.Б., Дмитриев М.П.</b> Влияние ремонтно-восстановительных составов на узлы трения строительных машин .....	72
<b>НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ</b>	
<b>Королев В.В.</b> Влияние антропогенных факторов на развитие градоэкологических систем крупнейших городов Западной Сибири во второй половине XIX — начале XX в. ....	76
<b>НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ</b>	
<b>Кошелева О.Э., Логвиненко В.А.</b> Изучение физических свойств кожевенных материалов .....	83
<b>Чапаев Д.Б., Зоря И.В., Оленников А.А.</b> Влияние климатических факторов на теплопотребление жилых зданий .....	89
<b>Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В.</b> Исследование анкеровки стальной фибры в цементно-песчаном бетоне .....	96
<b>ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО</b>	
<b>Величко Б.П., Тацки Л.Н., Кузьмичев Н.В.</b> Автоматизация работы измельчительно-сепарационной установки .....	104

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE

OF RUSSIAN FEDERATION

INTERNATIONAL ASSOCIATION

OF CONSTRUCTION

HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

## NEWS OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

# CONSTRUCTION

Scientific-theoretical journal

Published since March 1958

Monthly

N 2 (662)

February 2014

*Editor-in-Chief* V.G. Sebeshev, PhD, Prof.,  
Honour. Mem. RAACS

### Editorial Board:

- A.A. Afanasyev, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS  
V.L. Baladinsky, DSc (Eng), Prof.  
V.A. Vorobyov, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS  
P.A. Dmitriev, DSc (Eng), Prof.  
V.A. Ignatyev, DSc (Eng), Prof.  
V.I. Kostin, DSc (Eng), Prof. (Deputy Editor-in-Chief)  
G.B. Lebedev, PhD, Ass. Prof. (Deputy Editor-in-Chief)  
Ye.M. Lobanov, DSc (Eng), Prof.  
L.S. Lyakhovich, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS  
V.I. Morozov, DSc (Eng), Prof.  
Yu.P. Panibratov, DSc (Econ), Prof., Acad. RAACS  
Yu.P. Pravdivetz, DSc (Eng), Prof.  
V.G. Sebeshev, PhD, Prof., Honour. Mem. RAACS  
Yu.A. Feofanov, DSc (Eng), Prof.  
Ye.M. Chernyshov, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS

Responsible secretary N.V. Bitkina

### The editorial office's address:

113 Leningradskaya St. Novosibirsk 630008

 Phone number/fax +7 (383) 266 28 59  
[www.sibstrin.ru](http://www.sibstrin.ru) E-mail: [izvuz\\_str@sibstrin.ru](mailto:izvuz_str@sibstrin.ru)

## CONTENTS

### BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

- Kharkhardin A.N., Stroko-va V.V., Kozhuho-va N.I.** Principles of atomic packing of clusters and topological states of surface layers of ligand-free nano- and microparticles. Part 1 ..... 5
- Fokin G.A., Vilkova N.G., Guskov A.S.** Effect of particle size and their mass content in the suspension on a strength of cement stone ..... 11
- Zyryanova V.N., Berdov G.I., Vereshagin V.I., Kocupalo N.P., Ryabtsev A.D.** Compound magnesia cementing and building materials from natural highly mineralized brines of polycomponent ... 17
- Bezborodov V.G., Medentsov L.F., Medentsova N.L.** Effect of mechanical activation of the raw material mixture and the degree of dispersion of flux component on the structure and properties of foam ceramics on the basis of foam ..... 26

### ECONOMICS AND MA- NAGEMENT OF CONST- RUCTION

### AUTOMATION AND CONSTRUCTION TECH- NOLOGY

- Volkov S.V., Shvedov V.N.** The impact of organizational

and technological decisions on the level of construction quality and safety of buildings .....	32
<b>Mosakov B.S., Shchepotin G.K.</b> Increased organizational and technological reliability security process flow .....	40
<b>SANITARY ENGINEERING</b>	
<b>Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A., Tolmacheva E.I.</b> Development of methods for reducing the volume of aspiration during overloads of granular materials by bucket elevators. Message 1. Features of the settlement scheme aspiration of elevator overloads .....	46
<b>Kostin V.I.</b> Selection of parameters of external air for transitional conditions at calculation of climatic systems .....	57
<b>Mansurov R.S.</b> Integration of energy saving device to multifunctional setup of air processing .....	61
<b>Samarin O.D.</b> Probable and statistical validation of parameters of the cooling season	67
<b>BUILDING AND ROAD MACHINES</b>	
<b>Vinogradov A.B., Lomuhin V.B., Dmitriev M.P.</b> Influence repair and refurbishment structures for friction parts of construction machinery .....	72
<b>SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY</b>	
<b>Korolev V.V.</b> The influence of anthropogenic factors on the development of urban planning ecological systems in the largest cities of Western Siberia in second half XIX — early XX century .....	76
<b>SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION</b>	
<b>Kosheleva O.E., Logvinenko V.A.</b> The study of the physical properties of leather dressing materials .....	83
<b>Chapaev D.B., Zorya I.V., Olennikov A.A.</b> The influence of climatic factors on the thermal input of residential buildings on the examples .....	89
<b>Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V.</b> Study fixings steel fibers in cement-sand matrix .....	96
<b>MANUFACTURING APPLICATION OF SCIENTIFIC DEVELOPMENTS</b>	
<b>Velichko B.P., Tatski L.N., Kuzmichev N.V.</b> Automation of shredding-separation unit .....	104

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.001

А.Н. ХАРХАРДИН, В.В. СТРОКОВА, Н.И. КОЖУХОВА

## ПРИНЦИПЫ АТОМНОЙ УПАКОВКИ КЛАСТЕРОВ И ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ БЕЗЛИГАНДНЫХ НАНО- И МИКРОЧАСТИЦ

### Часть 1

Приводится краткий обзор топологического состояния поверхностных слоев и принципы атомной упаковки кластеров, нано- и микрочастиц.

Ключевые слова: дисперсные материалы, кластеры, нано- и микрочастицы, критический размер.

Основной характеристикой зернистой структуры материи является дискретность на различном масштабном уровне корпуксуллярных образований и строения вещества. Количественное скопление носителей индивидуальных свойств вещества приводит к качественному изменению системы его микрочастиц проявлением необычных их свойств и образованием агрегаций. Изменение дисперсности вещества при восхождении на макроуровень по «золь-гель» технологии в процессе атомной сборки кластеров, нано- и микрочастиц либо при спуске на микроуровень в процессе его измельчения происходит с изменением топологического состояния дисперсного слоя и с проявлением необычных свойств нано- или микрочастиц [1]. Уровень дискретности (степень раздробленности) вещества с появлением критического состояния его дисперсного слоя или с проявлением необычного изменения свойств его микрочастиц, отличающихся от свойств массивного тела, будем относить к критической дисперсности.

В современном понимании микрочастица — это неопределенная группа атомов, ионов, молекул или ультрадисперсных частиц, причем особым объектом исследования служит группа нано- или микрочастиц, образующая сферические агрегации связности между элементами различного уровня дискретности вещества. Свойства микрочастиц являются промежуточными между свойствами изолированных атомов и агрегатом кристаллического тела, между свойствами жидкого и твердого агрегатного состояния вещества. Микрочастицы можно характеризовать макроскопическими параметрами, которые по мере увеличения числа элементов дискретности и плотности их упаковки приближаются к соответствующим характеристикам дисперсной конденсированной фазы. Макроскопические параметры микрочастиц могут немонотонно зависеть от числа об-

разумемых их атомов или молекул. В частности, проявлением этого является существование магических чисел — энергетически наиболее выгодного числа элементарных образований в кластерах или микрочастицах. Наиболее изучены микрочастицы металлов.

По числу атомов металла образующиеся микрочастицы делят на малые ( $n = 3\text{--}12$ ), средние ( $n = 13\text{--}40$ ), крупные ( $n = 41\text{--}150$ ) и гигантские ( $n = 151\text{--}21100$ ) [2]. При числе атомов в микрочастице больше или равном 13 реализуется только такая плотная упаковка, когда каждый атом является поверхностным. По мере роста размеров микрочастиц в них возникает два типа упаковки атомов — внутренняя, близкая к кристаллической, и внешняя — поверхностная рыхлая в пристеночном слое. Поверхностные атомы имеют меньшие координационные числа, чем внутренние, их электронные оболочки сильно поляризованы, связи направлены лишь в одну сторону — внутрь частицы. Для таких частиц становятся более устойчивыми конфигурации, имеющие число связей между атомами пять (оси симметрии 5-го порядка), как известно, недопустимые для макрокристаллов.

Существует некоторый критический размер микрочастиц, выше которого пентагональные (икосаэдрические) структуры становятся менее стабильными, чем кристаллическая упаковка атомов. Считается, что переход от икосаэдрической к кристаллической структуре затруднен кинетически ввиду необходимости перестройки окружения все большего числа атомов. Этим объясняется сохранение пентагональных форм для относительно больших (10–30 нм) металлических микрочастиц. Для частиц таких размеров четкая огранка, характерная для кристаллов, все еще нестабильна и имеется тенденция к образованию микрочастиц шарообразной формы, ребра и вершины которых округляются, а грани становятся выпуклыми. По данным Ю.И. Петрова [2], в области числа атомов в микрочастицах от 151 до 21100 наблюдаются основные аномалии физических свойств, за которой следует переходная область, где в центре микрочастицы появляется все большее число внутренних слоев, упаковка которых начинает соответствовать структуре данного компактного металла.

Металлические безлигандные микрочастицы (кластерные образования) обладают следующими особенностями: поверхностная и внутренняя энергия отдельно взятого кластера соизмерима с числом атомов в объеме, структура кластера отличается от структуры массивного образца металла — отсутствует плотная кристаллическая упаковка. Увеличены расстояния между атомами, температура плавления и температура Дебая кластерных образований ниже, чем у массивного металла, и др. Форма и структура микрочастиц имеют неравновесное состояние и соответствуют состояниям с энергией, отличной от минимальной энергии. В этом состоянии могут находиться микрочастицы металлов, сплавов и иных простых, минеральных веществ.

Известно, что при распылении паров металлов на холодную подложку (в холодный гелий) образуются устойчивые кластеры с магическим числом атомов. Хорошо изучены безлигандные наночастицы (кластерные образования) металлов. Так для свинца были получены наиболее устойчивые кластеры, состоящие из 7, 10, 13, 17 и 19 атомов [3]. При числе 13 атомов в кластере образуются однослойные гексагональная и кубическая

плотнейшие их упаковки ( $\eta_1 = 0,74048$ ), а также икосаэдрическая упаковка ( $\eta_1 = 0,68834$ ). В первых двух упаковках на поверхности центрального атома формируются перманентные группы из 3–5 атомов, контактируемых между собой и с центральным атомом, тогда как в икосаэдрической упаковке все 12 поверхностных атомов диаметром  $d$  разъединены между собой на одинаковые расстояния:

$$l = [(1/0,905)^{1/3} - 1] d. \quad (1)$$

Они контактируют только с центральным атомом, образуя шесть осей 5-го порядка. Это промежуточная структура между кристаллическими телами неживой и развивающимися телами живой природы, характерная для большинства вирусов. Механизмы взаимодействия изолированных «холодных» атомов и образования таких структур еще не установлены. Один из интересных результатов таких исследований — установление важной роли состояния электронов поверхностных атомов в металлических кластерах. Для этих состояний по сравнению с объемными состояниями характерен некоторый дефицит электронной плотности. В связи с этим наблюдается рост работы выхода электрона из кластера по сравнению с большим металлическим кристаллом. Так для 13 атомных кубооктаэдрических кластеров переходных металлов разница составляет 2 эВ. Кроме того, у кластеров свойства ненасыщаемости и направленности связи между атомами выражены слабо или даже полностью отсутствуют [3].

Современными исследованиями малых частиц: расчетными и экспериментальными (рассеяние нейтронов и дифракция медленных электронов), установлено существование специфических колебаний, локализованных у поверхности в пределах нескольких атомных слоев. Колебательный спектр сдвигается в сторону более низких частот по сравнению с бесконечной кристаллической решеткой микрокристаллов. Амплитуда растет в особенности у поверхностных атомов [3]. По нашему мнению, протяженность электронных  $p$  и  $d$  орбиталей у «холодных» атомов сокращается. Сборка кластеров из «холодных» атомов кристаллических и однородных (икосаэдрических) структур в инертных средах и средах, не имеющих носителей зарядов, основана на ослабленном квантово-механическом притяжении и усиленном боковом кулоновском отталкивании атомов в соответствии с двумя принципами.

**Первый принцип — принцип плотной упаковки** заключается в снижении внутренней энергии скопления атомов или молекул плотной их упаковкой в результате сил притяжения. Одиночные «горячие» атомы или атомы в плотных зонах флюктуаций плотности, приходящие в контакт между собой, в результате действия сил притяжения и в соответствии с квантово-механической совместностью перекрываемых атомных орбиталей и допускаемой при этом симметрии в их трансляционной укладке, стремятся занять наименьший объем и с наибольшей плотностью упаковки заполнить свободный объем.

**Второй принцип — принцип кулоновской однородности** распределения «холодных» атомов в наноскоплениях заключается в том, что результатом действия сил бокового кулоновского оттал-

кивания является однородное размещение атомов в свободной сборке или в свободном пространстве вокруг центрального атома. Кулоновская однородность распределения атомов в кластерных образованиях приводит к снижению плотности их упаковки, координационного числа и прочности связи между ними.

Рост наночастиц металлов обусловлен первым принципом заполнения одиночными атомами свободных лунок, образованных поверхностными атомами, увеличением плотности их упаковки и координационного числа, боковым или радиальным перекрыванием внешних  $p$  или  $d$  электронных орбиталей в соответствии с квантово-механической совместимостью, формированием кубооктаэдрических или икосаэдрических структур при наличии центрального атома внутри кластера, либо пустотелых кластеров с образованием в них ближайших вакансий. Низкая плотность упаковки поверхностных атомов приводит к снижению прочности связи между ними в результате действия сил кулоновского отталкивания и однородности их распределения в поверхностных слоях. Рост кристаллов сферической формы наступает при достижении плотности упаковки атомов в поверхностных слоях, равной  $0,4098^{2/3} \leq \eta \leq 0,64976^{2/3}$ , где величина  $\eta \leq 0,4098$  указывает на невозможность топологического перехода к плотному конденсированному состоянию вещества [4]. При достижении плотности упаковки объемных атомов  $\eta \geq 0,64976$  вступает в силу квантово-механическое взаимодействие их в плотных упаковках с повышенной прочностью связи между ними. Квантово-механическая совместимость орбиталей определяет вид симметрии и атомную структуру при минимуме внутренней энергии кристаллов.

При перестройке первого слоя шаров (атомов) с икосаэдрической упаковкой в гексагональную упаковку для образования из нее первой ограниченной формы кластера, получаемого по принципу плотной упаковки, потребуется 17 равновеликих шаров (атомов). Образуемая при этом тригональная дипирамида состоит из 30 шаров, где наибольшее координационное число равно 9: 6 шаров в ней размещается в октаэдрических лунках между 4 шарами, 6 шаров — в лунках между 3 шарами и 5 шаров в вершинах. Тогда как для образования полиэдров кубооктаэдрической и икосаэдрической формы шаров второго слоя согласно (2) при  $n = 2$  потребуется  $N = 42$ . Общее число шаров трехслойного полиэдра составляет 147 и рассчитывается по формуле С.П. Губина<sup>1</sup>:

$$N = 1 + \sum_1^n (10n^2 + 2). \quad (2)$$

Нам неизвестна плотность упаковки шаров в многослойных малых полиэдрах. Допустим, что она составляет  $\eta_1 = 0,7405$ . Тогда диаметр описанной сферы кубооктаэдра ( $\eta_1 = 0,7405$ ), состоящего из 147 шаров, будет равен:  $D \geq (147 / \eta_1)^{1/3} d \geq 5,8d$ , а икосаэдра  $D \geq (147 / \eta_1)^{1/3} d \geq 6d$ , где  $\eta_1 = 0,68834$ . Плотность упаковки шаров в описанной сфере с однослойным кубооктаэдром и икосаэдром  $\eta_1 = 13d^3 / (3d)^3 = 13 / 27 = 0,4815$ ,

---

<sup>1</sup> Губин С.П. Химия кластеров. Основы классификации и строение. М.: Наука, 1987. 263 с.

а с пустотелым икосаэдром при заполнении в нем поры шаром соответствующего размера:

$$\eta_1 = 12,905d^3 / (2,905d)^3 = 12,90 / 24,51 = 0,5264.$$

При отсутствии центрального шара она соответственно равна:

$$\eta_1 = 12d^3 / (3d)^3 = 12 / 27 = 0,444,$$

$$\eta_1 = 12d^3 / (2,9d)^3 = 12 / 24,515 = 0,4895.$$

Следовательно, пониженная плотность упаковки атомов в кластерах с икосаэдрической или кубооктаэдрической формой, не имеющих центрального атома, обуславливает их дальнейший рост в первую очередь в виде икосаэдрических сферических кристаллов с образованием в них вакансий либо перестройку структуры к огранненной форме кристаллов.

Так, равновесная объемная доля поверхностных атомов в ретикулярной поверхности кристаллов с плотнейшей их упаковкой  $\eta_s = \pi / 2\sqrt{3} = 0,9069$  простого вещества и объемных атомов с плотнейшей упаковкой  $\eta_1 = \pi / 3\sqrt{2} = 0,7405$  в гексагональной плотноупакованной (ГПУ) и гранецентрированной кубической (ГЦК) структуре равна:

$$0,9069x - 0,7405(1 - x) = 0, \text{ отсюда } x = 0,45.$$

Эта величина соответствует псевдожидкому топологическому состоянию поверхностных атомов, а величина  $1 - 0,45 = 0,55$  — псевдотвердому состоянию объемных атомов. Кластеры с устойчивой икосаэдрической ( $\eta_1 = 0,6883$ ), ГПУ и ГЦК упаковкой ( $\eta_1 = 0,7405$ ) атомов имеют следующее равновесное объемное содержание поверхностных атомов, где  $\eta_s \approx 0,68834^{1/3} \approx 0,88295$  и  $\eta_s \approx 0,68834^{1/9} \approx 0,95935$ :

$$0,88295x - 0,6883(1 - x) = 0 \text{ и } 0,88295x - 0,7405(1 - x) = 0.$$

$$0,9594x - 0,6883(1 - x) = 0 \text{ и } 0,9594x - 0,7405(1 - x) = 0.$$

Отсюда соответственно получим:  $x = 0,418$  и  $0,456$  и  $x = 0,438$  и  $0,436$ .

Следовательно, в малых наночастицах наиболее устойчивой формой кристаллов являются ГЦК, ГПУ структуры, а далее икосаэдрическая, в больших наночастицах — наоборот. Плотность упаковки поверхностных атомов с уменьшением размера кластеров и наночастиц понижается, а в больших частицах она достигает кристаллической упаковки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строкова, В.В. О влиянии размерных параметров полиморфных модификаций кварца на его активность в композиционных вяжущих [Текст] / В.В. Строкова, И.В. Жерновский, Ю.В. Фоменко // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2007. — № 4. — С. 48–49.
2. Петров, Ю.И. Кластеры и малые частицы [Текст] / Ю.И. Петров. — М. : Наука, 1986. — 367 с.
3. Кипнис, А.Я. Кластеры в химии [Текст] / А.Я. Кипнис. — М. : Знание, 1981. — № 7. — 64 с.
4. Хархардин, А.Н. Топологические свойства микро- и нанодисперсных материалов [Текст] / А.Н. Хархардин, В.В. Кашибадзе // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 5. — С. 109–113.

*ХАРХАРДИН Анатолий Николаевич, д-р техн. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*  
*СТРОКОВА Валерия Валерьевна, д-р техн. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*  
*КОЖУХОВА Наталья Ивановна, ст. инж.*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

Получено 16.12.13

**Kharkhardin Anatoly Nikolaevich**, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

**Strokova Valeria Valerievna**, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

**Kozhuhova Natalya Ivanovna**, senior engineer, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

## **PRINCIPLES OF ATOMIC PACKING OF CLUSTERS AND TOPOLOGICAL STATES OF SURFACE LAYERS OF LIGAND-FREE NANO- AND MICROPARTICLES**

### **Part 1**

The review of topological states of surface layers as well as the principles of atomic packing of clusters of nano- and microparticles into sample substances is demonstrated.

**Key words:** disperse materials, clusters, nano- and microparticles, the critical size.

### **REFERENCES**

1. Strokova, V.V. O influence of dimensional parameters of polymorphic modifications of quartz on its activity in the composite knitting [Text] / V.V. Strokova, I.V. Zhernovsky, Yu.V. Fomenko // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. — 2007. — N 4. — P. 48–49.
2. Petrov, Yu.I. Clusters and small particles [Text] / Yu.I. Petrov. — M. : Science, 1986. — 367 p.
3. Kipnis, A.Ya. Clusters in chemistry [Text] / A.Ya. Kipnis. — M. : Knowledge, 1981. — N 7. — 64 p.
4. Kharkhardin, A.N. Topological properties of micro- and nanodispersal materials [Text] / A.N. Kharkhardin, V.V. Kashibadze // News of Higher Education Institutions. Construction. — 2009. — N 5. — P. 109–114.

**УДК 666.972:539.4**

**Г.А. ФОКИН, Н.Г. ВИЛКОВА, А.С. ГУСЬКОВ**

## **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ И ИХ МАССОВОГО СОДЕРЖАНИЯ В ИСХОДНОЙ СУСПЕНЗИИ НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ**

На основе разработанного способа получения цементного камня повышенной прочности было исследовано влияние размера фракции и массового содержания цемента в исходной суспензии на твердение вяжущего и прочность цементного камня.

**Ключевые слова:** размер фракции, массовое содержание цемента, твердение, суспензия, цементный камень.

В современном строительстве весьма актуальной задачей является повышение прочности и долговечности цементного камня. Для ее решения применяются различные методы. В последнее время наиболее популярны ультразвуковые методы, которые используют как на стадии формирования структуры материала, так и для обработки воды затворения.

Цель данной работы — получение материала повышенной прочности воздействием на водную суспензию цемента низкочастотным ультразвуковым полем, сопровождающимся явлением кавитации, и изучение влияния обработки на формирование структуры материала. Проводилось исследование влияния размера фракции и массового содержания цемента в исходной суспензии на твердение цементного камня. Отличительной особенностью работы является то, что по результатам наших исследований можно производить материал заданной прочности.

Для достижения поставленной цели применялась установка, собранная на основе ультразвукового аппарата «Волна» (модель УЗТА-0,4 / 22-ОМ), электрические сигналы с которого передаются на пьезоэлектрический преобразователь, помещенный в вентилируемый кожух. Ультразвуковые колебания распространяются в среде через металлический волновод.

Исследуемую разбавленную суспензию с концентрацией твердой фазы 1,3 % (массовое содержание цемента в суспензии) наливали в прозрачный сосуд, который помещается в ячейку с основанием из металлических пластин, скрепляемых болтами. Такая конструкция обеспечивает надежное крепление сосуда и излучателя. Применение прозрачного сосуда позволяет проводить визуальные наблюдения за процессами в суспензии.

Рабочий сосуд представляет собой цилиндр из прозрачного, полимерного материала диаметром 10 см, высотой 13 см и объемом 130 см<sup>3</sup>. Емкость заполняется водопроводной водой ГОСТ 2874–82 «Вода питьевая», в нее вводится портландцемент марки 500 ГОСТ 10178–85, с последующей обработкой низкочастотными ультразвуковыми колебаниями с частотой 22 кГц, мощностью 140 В · А (10 Вт / см<sup>2</sup>) в течение 5 мин [1].

---

**© Фокин Г.А., Вилкова Н.Г., Гуськов А.С., 2014**

При обработке суспензии в течение 5 мин ультразвуковым полем установлено быстрое оседание грубодисперсных частиц на дно сосуда и ускоренное равновесное распределение частиц по высоте столба. В отдельных опытах показано, что седиментационное равновесие, соответствующее примерно такому же распределению частиц в гравитационном поле, устанавливается только в течение 30–40 мин. Пробы суспензии отобраны с пяти слоев. В результате обработки низкочастотными ультразвуковыми колебаниями каждый слой характеризуется различным размером фракции, вследствие ускоренного их распределения под действием ультразвуковой обработки.

Для определения влияния воздействия ультразвука на расклинивающее действие воды затворения, а соответственно и на процесс диспергирования частиц вяжущего, был проведен седиментационный анализ. В результате анализа установлено распределение частиц по их размерам (табл. 1).

Таблица 1. Распределение радиусов фракций по размерам

Показатель	Слой				
	1	2	3	4	5
<i>Обработка ультразвуком</i>					
Средний радиус фракции, мкм	2,25	7,5	20	40	85
Содержание, %	23,1	4,98	15,9	32,23	23,8
<i>Без обработки ультразвуком</i>					
Средний радиус фракции, мкм	—	—	25	45	85
Содержание, %	0	0	38,5	28,4	33,1

В табл. 1 показано послойное распределение радиусов фракций по размерам для суспензии в гравитационном поле и под действием ультразвука. Под действием низкочастотных ультразвуковых колебаний крупные фракции диспергируют на более мелкие. Изменяется радиус наиболее мелких фракций и их процентное содержание [2].

Распределение Больцмана позволяет найти количество частиц на заданной высоте и число частиц в единице объема обработанной суспензии. Считая, что распределение числа частиц по высоте каждого слоя подчиняется закону Больцмана, а в однородном поле силы тяжести потенциальная энергия частиц зависит от высоты и определяется зависимостью  $U = mgh$ , получим:

$$N_i = N_0 \exp\left(-\frac{\Delta mgh}{kT}\right), \quad (1)$$

где  $N_i$  — количество частиц в слое;

$N_0$  — общее количество частиц;

$\Delta m = (m - m_0)$ ,  $m$  — масса частицы,  $m_0$  — масса дисперсионной среды в объеме частицы;

$g$  — ускорение свободного падения;

$h$  — высота сосуда;

$T$  — температура окружающей среды;

$k$  — постоянная Больцмана.

Если  $\Delta m = \text{const}$ , то в каждом слое справедливо распределение Больцмана. Однако число частиц радиуса  $r$  (при их распределении по слоям различной массы) будет максимальным в слое с наименьшей массой. Для того чтобы найти массу слоя, было произведено взвешивание каждого слоя на весах с точностью до трех знаков после запятой (табл. 2).

**Таблица 2. Масса слоя, масса одной частицы слоя и число частиц в слое**

Показатель	Слой				
	1	2	3	4	5
Масса слоя, г ( $m_c$ )	1,097	1,992	2,553	3,536	3,711
Масса частицы, г	$6,203 \cdot 10^{-14}$	$2,297 \cdot 10^{-12}$	$4,356 \cdot 10^{-11}$	$3,485 \cdot 10^{-10}$	$3,344 \cdot 10^{-9}$
Число частиц	$176,9 \cdot 10^{10}$	$86,71 \cdot 10^{10}$	$58,6 \cdot 10^{10}$	$1,015 \cdot 10^{10}$	$0,111 \cdot 10^{10}$

Найдем массу одной частицы, используя уравнение:

$$m_q = \rho \frac{4}{3} \pi r^3, \quad (2)$$

где  $\rho$  — насыпная плотность портландцемента ( $1300 \text{ кг/м}^3$ );

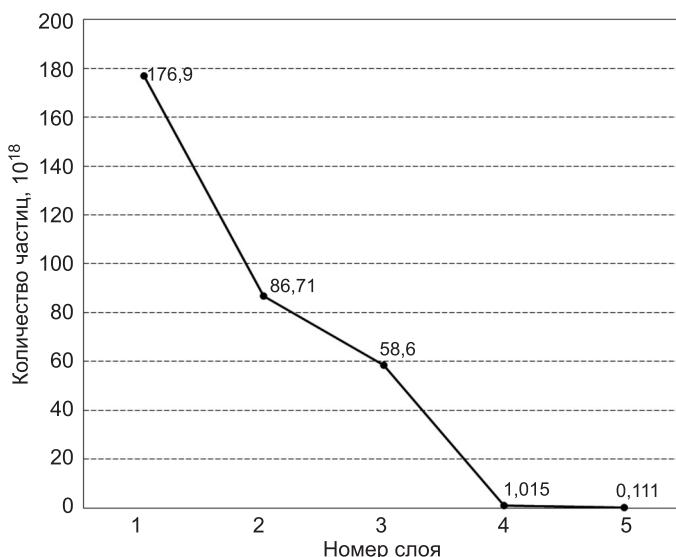
$r$  — средний радиус фракции слоя.

Для того чтобы найти количество частиц в каждом слое, воспользуемся уравнением:

$$N = \frac{m_{cl}}{m_q}. \quad (3)$$

Результаты вычислений приведены в табл. 2.

Распределение числа частиц в слое представлено на рис. 1. Наибольшее содержание частиц мелкой фракции  $2,25 \text{ мкм}$  и их высокая концен-



*Rис. 1. Распределение числа частиц по высоте столба*

трация  $176,9 \cdot 10^{10}$  в верхнем слое обработанной суспензии, согласно существующей теории, позволяет использовать первый слой в качестве воды затворения для изготовления строительных материалов повышенной прочности.

На основе полученных данных были изготовлены опытные образцы цементного камня, кубической формы с размером ребра 70 мм (допускается применять согласно ГОСТ 10180–2011), водоцементным отношением 0,42 при твердении в нормальных условиях. Было проведено испытание на сжатие опытных образцов согласно ГОСТ 10180–2011. Результаты испытаний представлены на графике, где приведены относительные значения прочности цементного камня в зависимости от слоя (рис. 2).

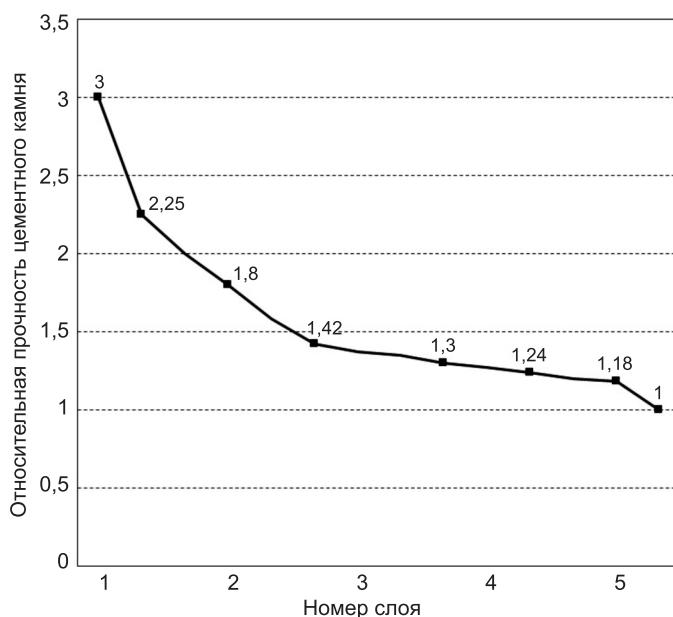
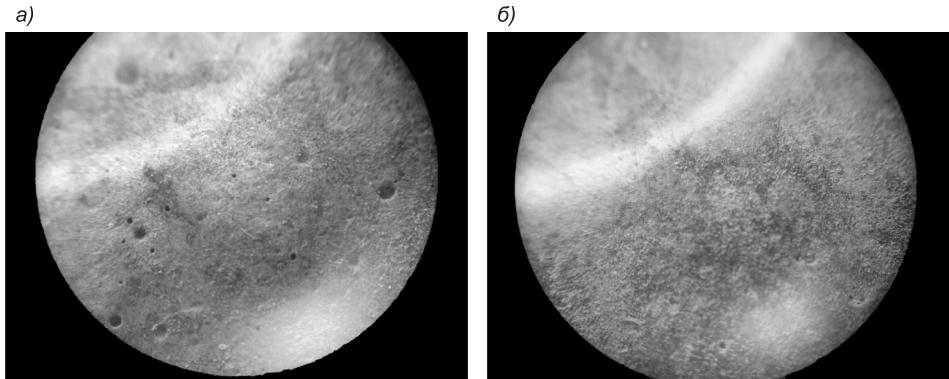


Рис. 2. Относительная прочность материала в зависимости от слоя

Анализируя данные на рис. 2, мы видим, что относительная прочность образцов на сжатие, замешанных на воде затворения из первого слоя с наибольшим содержанием фракции 2,25 мкм, в 3 раза выше прочности образцов, изготовленных на воде затворения пятого слоя. Повышение прочности обусловлено использованием для затворения цемента исходной суспензии фракции с радиусом 2,25 мкм, являющейся центром кристаллизации [3]. Как видно из рис. 2, применение приготовленных суспензий со средним радиусом фракции 20 мкм (3–5-й слой) и более (3–5-й слой) обеспечивает повышение прочности не более чем в 1,42 раза.

Как было отмечено ранее, ультразвуковая обработка исходной, разбавленной суспензии формирует мелкодисперсную фракцию, которая в дальнейшем не только служит центрами кристаллизации на стадии схватывания приготовленных образцов, но и способствует повышению их прочности. За счет образования мелкозернистой структуры цементные



*Рис. 3. Пористость полученных обычного образца (а) и образца на основе воды затворения первого слоя (б). 10-кратное увеличение*

образцы, изготовленные на основе воды затворения первого слоя, обладают также меньшей пористостью (рис. 3), по сравнению с образцами, изготовленными на основе более грубодисперсных суспензий.

Из такого материала можно изготавливать бетоны повышенной прочности, например, для укладки фундамента. Воду затворения других слоев можно использовать для производства материала с меньшими прочностными характеристиками для его применения там, где не требуются высокие эксплуатационные характеристики.

Таким образом, ультразвуковое воздействие на суспензию способствует ускоренному (по сравнению с гравитационным полем) установлению седиментационного равновесия, диспергированию исходных частиц и позволяет прогнозировать прочности исходных материалов. Используя данный метод можно влиять на прочность материала на стадии формирования его структуры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин, Г.А. Ускорение реакции твердения вяжущего низкочастотным ультразвуковым полем [Текст] / Г.А. Фокин, А.С. Гуськов // Региональная архитектура и строительство. — 2013. — № 17. — С. 62–66.
2. Фокин, Г.А. Акустические и вихревые поля в водных растворах: моногр. [Текст] / Г.А. Фокин, О.В. Тетюшева, А.С. Гуськов. — Пенза : Изд-во ПГУАС, 2013. — 259 с.
3. Козлова, О.Г. Рост кристаллов [Текст] / О.Г. Козлова. — М. : Изд-во МГУ, 1967. — 238 с.

**ФОКИН Георгий Александрович**, д-р техн. наук, проф.; E-mail: fokingeorg@mail.ru  
**Пензенский государственный университет архитектуры и строительства**  
**ВИЛКОВА Наталья Георгиевна**, д-р хим. наук, проф.; E-mail: Vilkova\_nastyaa@mail.ru

**Пензенский государственный университет архитектуры и строительства**  
**ГУСЬКОВ Антон Сергеевич**, асп.; E-mail: GuskovAnton90@yandex.ru  
**Пензенский государственный университет архитектуры и строительства**

Получено после доработки 02.12.13

**Fokin Georgy Alexandrovich**, doctor of technical sciences, professor; E-mail: fokingeorg@mail.ru, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

**Vilkova Natalya Georgievna**, doctor of chemistry, professor; E-mail: Vilkova\_nastya@mail.ru, Penza State University of Architecture and Construction, Russia  
**Guskov Anton Sergeevich**, post-graduate student; E-mail: GuskovAnton90@yandex.ru, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

## **EFFECT OF PARTICLE SIZE AND THEIR MASS CONTENT IN THE SUSPENSION ON A STRENGTH OF CEMENT STONE**

The developed method for producing high-strength cement paste was made study of the effect size and the mass fraction of cement content in the initial suspension on binder hardening and strength of cement stone.

**Key words:** fraction size, mass content of cement, hardening, suspension, cement stone.

### **REFERENCES**

1. Fokin, G.A. Acceleration response of binder hardening low-frequency ultrasonic field [Text] / G.A. Fokin, A.S. Guskov // Regional architecture and engineering. — 2013. — N 17. — P. 62–66.
  2. Fokin, G.A. Acoustic and vortex fields in aqueous solutions: monograph [Text] / G.A. Fokin, O.V. Tetyusheva, A.S. Guskov. — Penza : PGUAS Publ., 2013. — 259 p.
  3. Kozlova, O.G. Crystal growth [Text] / O.G. Kozlova. — M. : Moscow University Publishing House, 1967. — 238 p.
-

УДК 691.51/.55.002.3

В.Н. ЗЫРЯНОВА, Г.И. БЕРДОВ, В.И. ВЕРЕЩАГИН, Н.П. КОЦУПАЛО,  
А.Д. РЯБЦЕВ

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ПРИРОДНЫХ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ РАССОЛОВ

Показаны технологические особенности получения магниевых продуктов (оксида и хлорида магния) из поликомпонентных рассолов хлоридного кальциевого, хлоридного магниевого и смешанных типов. На основе этих продуктов получено высокоактивное водостойкое композиционное вяжущее и экономичные строительные материалы.

Ключевые слова: рассол, оксид магния, бишофит, магнезиальное вяжущее, композиционное магнезиальное вяжущее, экономическая эффективность.

Основным компонентом магнезиальных и композиционных магнезиальных вяжущих материалов является активный оксид магния (каустический магнезит), в большинстве промышленных способов образующийся при обжиге минерала магнезита —  $MgCO_3$ . Однако в последние годы все большее внимание направлено на получение магниевых продуктов из морской воды и природных рассолов. Первичный продукт при этом — химически осажденный гидроксид магния и / или гидромагнезит —  $3MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$  [1]. После прокаливания указанных продуктов (при температуре 500–800 °C) получают оксид магния.

Преимущества гидроминерального сырья по сравнению с горнорудным (магнезит, брусит, доломит):

- более низкая температура прокаливания исходного сырья;
- мелкодисперсность образующегося оксида магния и, как следствие, высокая реакционная способность материала при затворении солями магния и его гидратационном твердении;
- возможность получения затворителя из того же сырья (раствора хлорида магния);
- исключение техногенных отходов, загрязняющих окружающую среду (отходы растворов неорганических солей сбрасываются в водоемы или закачиваются в подземные горизонты);
- улучшение экономических показателей производства.

Кроме того, гидроминеральное сырье является высокоэффективным источником магния, что позволяет ориентироваться на длительное функционирование предприятия.

Магнезиальные вяжущие материалы применяют для производства ксиолита и фибролита, магнезиальных легких бетонов, штукатурных растворов, теплоизоляционных материалов, буровых и тампонажных растворов, сухих строительных смесей и других композиций. При затворении активного  $MgO$  концентрированным раствором хлорида магния в процессе

гидратации и твердения происходит образование преимущественно кристаллогидратов основных солей магния — гидроксохлоридов магния —  $3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $5\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , что обеспечивает быстрый набор прочности до высоких значений в ранние сроки твердения.

Цель настоящей работы — анализ применения природных поликомпонентных рассолов различных типов для одновременного получения оксида и хлорида магния, а также экономическая оценка рентабельности производства из них магниевых продуктов, в том числе магнезиальных и композиционных магнезиальных вяжущих материалов.

**Экспериментальная часть.** Для получения оксида магния  $\text{MgO}$  и бишофита  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (раствора  $\text{MgCl}_2$ ) использовали рассолы хлоридного кальциевого, хлоридного магниевого и смешанного типов. В табл. 1 приведены составы рассолов: дренажного рассола алмазного карьера (трубка «Удачная», Республика Саха (Якутия)); подземного рассола Знаменского проявления (Иркутская область) и синтетического рассола хлорида магния, имитирующего разбавленный (в 2,7–2,75 раза) раствор бишофита Волгоградского месторождения.

Таблица 1. Составы природных поликомпонентных рассолов, г/л

№ рассола	Месторождение	$\text{LiCl}$	$\text{NaCl}$	$\text{KCl}$	$\text{MgCl}_2$	$\text{CaCl}_2$	$\text{Br}^-$	$\Sigma$ солей	$\text{MgCl}_2 : \text{CaCl}_2$
1	Трубка «Удачная»	0,9	81,2	34,7	39,9	163,2	6,0	326	4,1
2	Знаменское	2,5	6,1	8,2	115,0	330,0	9,3	370	2,8
3	Волгоградское (имитат раствора)	—	4,9	5,2	170,0	1,85	—	182	0,01

Осаждение магниевых соединений осуществляли известковым молоком ( $\text{CaO}_{\text{акт}} 10\%$ ) или содово-щелочными растворами при комнатной температуре и перемешивании в течение 1–2 ч. После отстаивания сушенную пульпу фильтровали и промывали оборотными растворами в противотоке.

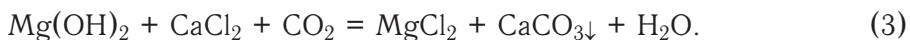
Содержание магния и кальция в жидкких и твердых фазах определяли комплексонометрическими методами; диоксида углерода — волюметрическим; щелочных элементов (Li, Na, K) — методом фотометрии пламени на приборе AAS-1.

Фазовый состав магниевых продуктов и вяжущих материалов оценивали с помощью РФА (дифрактометр ДРОН-3, монохроматическое  $K_{\alpha}$ -излучение, медный антикатод), ДТА (дериватограф системы Paulik-Paulik-Erdey, Q1500D) и кристаллооптического анализа (микроскоп ПОЛАМ Л-211, GSM 20T фирмы «GEOL», разрешающая способность 1–1000 мкм). Удельную поверхность образцов  $\text{MgO}$  определяли методом БЭТ, истинную плотность — пикнометрическим методом. Физико-механические свойства магнезиального вяжущего материала: нормальную густоту (%), сроки схватывания (ч–мин), удельную поверхность ( $\text{m}^2/\text{kg}$ ,  $\text{cm}^2/\text{g}$ ), среднюю плотность ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), предел прочности при сжатии и изгибе (МПа), водостойкость ( $R_{\text{сж},\text{среда}}/R_{\text{сж},\text{воздух}}$ ) устанавливали в соответствии с ГОСТ и методами, принятymi для характеристики свойств вяжущих материалов.

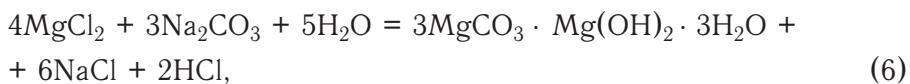
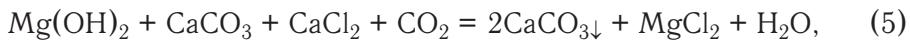
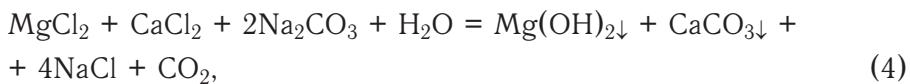
**Обсуждение результатов.** Осаждение гидроксида магния из рассолов хлоридного кальциевого, хлоридного магниевого типа (табл. 1, рассолы 1, 2) проводили двумя способами: осаждением  $Mg(OH)_2$  известковым молоком ( $CaO_{акт}$  10 %, недожог известняка  $CaCO_3$  6–8 %) в присутствии полиакриламида и осаждением коллективного осадка ( $Mg(OH)_2 + CaCO_3$ ) с помощью содового раствора  $Na_2CO_3$  и щелочи ( $NaOH$  или  $Ca(OH)_2$ ). Одновременно из пульпы, содержащей  $Mg(OH)_2$ , получали раствор хлорида магния путем ее карбонизации в присутствии  $CaCl_2$  из того же рассола.

Химизм получения оксида магния и хлорида магния описывается нижеследующей совокупностью реакций.

#### Способ I.



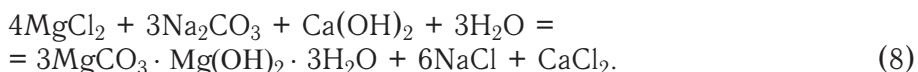
#### Способ II.



Для перевода гидроксида магния в хлорид использовали раствор хлорида кальция, полученный после осаждения  $Mg(OH)_2$  (реакция (1)) или путем растворения  $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ , образующегося при подъеме пересыщенного рассола по хлориду кальция хлоридного кальциевого типа на поверхность после его охлаждения. При реализации способа II реакция (4) проводится при последовательном введении  $Ca(OH)_2$  (1-я стадия) и  $Na_2CO_3$  (2-я стадия), а коллективный осадок  $Mg(OH)_2$  и  $CaCO_3$  используется для обработки пульпы раствором  $CaCl_2$ . Как следует из уравнений (3) и (5), одновременно с раствором  $MgCl_2$  образуется химически осажденный карбонат кальция.

#### Способ III.

Применительно к рассолам хлоридного магниевого типа (см. табл. 1, рассол 3) осаждение магния проводили содово-щелочным раствором с получением карбоната магния. Вместо гидроксида натрия в смеси с содой использовали известковое молоко при введении  $Ca(OH)_2$  на 1-й стадии:



Маточные растворы после осаждения магниевых соединений (реакции (1), (4) и (8)) могут быть использованы по разному назначению. Так, в способе I (реакция (1)) маточный раствор, представляющий собой раствор хлорида кальция, может быть использован как в технологической схеме, так и для получения тампонажных растворов, применяемых при бурении на нефть и газ, где встречаются пласты с высокой магнезиаль-

ной агрессией [2]. Маточные растворы, обогащенные NaCl (реакции (4), (8)), могут быть использованы для получения хлорида натрия и электролиза раствора NaCl с образованием католита (раствора NaOH), который после карбонизации может быть применен для осаждения карбоната магния (реакции (6), (8)). Кроме того, при осуществлении способа II применительно к рассолам 1, 2 (см. табл. 1), маточные растворы хлорида натрия обогащаются литием и бромом и могут быть использованы для получения литиевых и бромных продуктов [2].

Учитывая, что неотмытые примеси хлоридов натрия и кальция, содержащиеся с MgO после прокаливания, отрицательно влияют на водостойкость магнезиального вяжущего материала [3], при разработке технологии получения оксида магния из рассолов хлоридного кальциевого типа (см. табл. 1, рассол 1, 2) были предусмотрены более эффективные условия промывки гидроксида магния от маточных растворов, включающие промежуточный отжим магниевых осадков. Это позволило снизить содержание солей в прокаленных осадках с 6,6 до 3,4–4,3 % и повысить содержание оксида магния до 82–88 % (табл. 2).

**Таблица 2. Состав магниевых продуктов после прокаливания, полученных из рассолов различных типов**

№ п/п	Место-рождение	Осадитель Mg(OH) <sub>2</sub>	Температура прокаливания ( $\pm 50$ °C)	Состав прокаленного осадка, мас. %						$\Sigma$ солей
				MgO	Mg(OH) <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	CaCO <sub>3</sub>	CaO	
1	Трубка «Удачная»	Известковое молоко	500	74,04	5,80	5,5	1,14	12,22	1,3	20,16
2			600	78,78	2,58	5,5	1,14	7,8	4,2	18,64
3	«Знаменское»	Известковое молоко	600	82,00	2,70	4,3	—	7,1	3,9	15,30
4		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , CaO	600	88,62	3,62	3,38	—	3,18	1,2	7,76
5		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , CaO	750	94,72	—	3,38	—	1,3	0,6	5,28
6	Волго-градское (имитат)	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , NaOH	600	93,00	3,1	—	3,9	—	—	3,9
7		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub>	600	93,10	3,0	0,8	3,1	—	—	3,9

Оксид магния, полученный при прокаливании до 600 °C осажденного Mg(OH)<sub>2</sub>, имеет развитую удельную поверхность (до 32 м<sup>2</sup>/г) и высокую реакционную способность, что обусловлено повышенной дефектностью его структуры. Эти качества обеспечивают высокую гидратационную активность магнезиальным и композиционным магнезиальным вяжущим материалам, в которых оксид магния один из основных компонентов.

Исходя из химической схемы процессов и особенностей получаемых магниевых продуктов из рассолов хлоридного кальциевого типа, была разработана технология одновременного получения оксида и хлорида магния с помощью различных осадителей.

Для получения магнезиального вяжущего материала использовали образцы 1–4 (см. табл. 2), прокаливание которых проводили при температуре не выше 550 ± 50 °C [3]. Затворение оксида магния осуществляли

раствором хлорида магния (плотность 1,2 г/см<sup>3</sup>,  $C(\text{MgCl}_2) = 140\text{--}150 \text{ г/л}$ ) при  $T: \text{Ж} = 2,2\text{--}2,5$ , что соответствовало соотношению  $\text{MgO} : \text{MgCl}_2 = 3:1$  и нормальной густоте теста, равной 60–65 %. [3]. Полученная дисперсная система характеризуется быстрым схватыванием и затвердеванием, быстрым набором прочности в ранние сроки твердения (3–7 сут). Продуктами твердения по данным РФА, ДТА и кристаллооптического анализа являются кристаллогидраты гидроксохлоридов магния различной степени основности, преимущественно три- и пентогидроксохлорид магния. В незначительном количестве кристаллизуется  $\text{Mg(OH)}_2$ ,  $\text{MgO}_{\text{своб}}$  отсутствует. Для оценки водостойкости образцов магнезиального вяжущего использовали коэффициент водостойкости (коэффициент размягчения), определяемый как соотношение прочности при сжатии после 28-суточного твердения образцов в воде (или солевом растворе) и на воздухе ( $K_{\text{ст}} = R_{\text{сж}} \text{ (среда)} : R_{\text{сж}} \text{ (воздух)}$ ).

В табл. 3 приведены средние показатели сроков схватывания и прочности при сжатии магнезиальных вяжущих из рассолов 2 и 3. Хотя магнезиальные вяжущие получены из рассолов различного состава, указанные физико-механические свойства близки и отличаются не более чем на 3 %.

Таблица 3. Физико-механические свойства магнезиального вяжущего материала, полученного с использованием рассолов (образцы 2 и 3)

$T_{\text{обж}}$ , °C	$S_{\text{уд}}$ , м <sup>2</sup> /г	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Сроки схватывания, ч–мин		Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут		$K_{\text{ст}}$ , отн. ед.
		насыпная	истинная	начало	конец	7	28	
450	28,0	0,8	3,00	0–20	0–45	30	38	0,77
500	32,0	0,87	3,10	0–22	0–48	39	62	0,82
600	20,0	0,89	3,20	0–25	0–60	30	40	0,77

Для повышения водостойкости магнезиального вяжущего целесообразно введение в его состав химически стойкого компонента. С этой целью в сырьевую смесь вводили тонкоизмельченный силикат магния и кальция —  $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$  — диопсид (или дунит, серпентинит, волластонит). В качестве дисперсно армирующего наполнителя может использоваться как природное некондиционное сырье, так и техногенные магнийсодержащие отходы (оливиниты, пироксениты, золы, шлаки и пр.).

Наполнитель измельчали в шаровой или планетарно-центробежной мельницах в течение 2 ч и 5–10 мин соответственно до достижения удельной поверхности 4,5–5,0 м<sup>2</sup>/г. Затворение сырьевой смеси проводили раствором хлорида магния (плотность 1,2 г/см<sup>3</sup>) до достижения нормальной густоты теста 65 %. Физико-механические свойства композиционного магнезиального вяжущего материала на основе магниевых продуктов, полученных из природных рассолов, были изучены с использованием в качестве наполнителя диопсида. В табл. 4 приведены физико-механические свойства полученных композиционных магнезиальных вяжущих материалов. Композиционные магнезиальные вяжущие материалы

Таблица 4. Физико-механические свойства композиционных магнезиальных вяжущих материалов на основе магниевых продуктов

Состав вяжущего, диопсид: MgO, мас. %	MgO / MgCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O / MgCl <sub>2</sub>	Среда твердения, 28 сут	Плотность, г / см <sup>3</sup>	R <sub>сж</sub> , МПа, 28 сут	$K_{ct} = R_c / R_{сж}$ среда / воздух
50:50	6,59	2,41	Воздух	2,06	42	—
			Вода	2,01	39	0,92
			3 % MgCl <sub>2</sub>	2,05	46	1,09
			3 % MgSO <sub>4</sub>	2,02	34	0,80
70:30	3,95	2,42	Воздух	2,14	52	—
			Вода	2,14	49	0,94
			3 % MgCl <sub>2</sub>	2,14	55	1,12
			3 % MgSO <sub>4</sub>	2,10	46	0,88
80:20	2,63	2,52	Воздух	2,10	38	—
			Вода	2,08	38	1,0
			3 % MgCl <sub>2</sub>	2,10	42	1,11
			3 % MgSO <sub>4</sub>	2,06	35	0,92
90:10	2,31	2,53	Воздух	2,12	34	—
			Вода	2,10	32	0,94
			3 % MgCl <sub>2</sub>	2,11	38	1,12
			3 % MgSO <sub>4</sub>	2,10	27	0,79
95:5	1,31	2,95	Воздух	2,20	25	—
			Вода	2,18	22	0,88
			3 % MgCl <sub>2</sub>	2,20	28	1,27
			3 % MgSO <sub>4</sub>	2,18	20	0,80
0:100	6,59	2,41	Воздух	1,87	40	—

характеризуются высокой механической прочностью (30–50 МПа), повышенной водостойкостью ( $K_{ct} = 0,8$ –0,93) и стандартными сроками схватывания.

Разработанные составы ксиолита обеспечивают достижение прочности при сжатии 26–35 МПа, коэффициента водостойкости 0,87–0,92 при плотности 1300–1460 кг / м<sup>3</sup>. Предложенные составы пеномагнезита при использовании дунита с удельной поверхностью 3,0 м<sup>2</sup> / г или золы с удельной поверхностью 1,5 м<sup>2</sup> / г обладают повышенной водостойкостью с достижением прочности при сжатии 8–10 МПа, плотности 540–800 кг / м<sup>3</sup>, коэффициента теплопроводности 0,09–0,13 Вт / (м · град). Рекомендованные составы декоративных облицовочных плиток на основе MgO, полученного из рассолов, диопсида и стеклобоя, с повышением водостойкости ( $K_{ct}$  до 0,9) обеспечивают достижение прочности при сжатии 23–30 МПа, плотности 1620–1870 кг / м<sup>3</sup>.

Разработанный высокомарочный цемент широко востребован в металлургической и строительной индустрии. Его использование повышает экономическую эффективность технологии получения магниевых продуктов из рассолов. Литиевые, бромные и магниевые продукты, а также маточные растворы, применяемые для приготовления тампонажных растворов на основе магнезиальных вяжущих материалов, используемых при бурении на нефть и газ [2, 4], позволяют существенно повысить рентабельность производства.

Экономическая оценка эффективности производства магниевых продуктов из рассолов Иркутской области (рассол 2, табл. 1) осуществлялась при производительности предприятия 1900 тыс. м<sup>3</sup> рассола в год. Оценке подвергалось два варианта расчета: 1) производство хлорида кальция, магниевых продуктов и магнезиального вяжущего; 2) комплексная переработка литийбромсодержащего рассола с получением литиевых, магниевых, кальциевых продуктов, брома и магнезиального вяжущего материала. Расчет производился исходя из разработанной программы на 20-летний период функционирования предприятия (табл. 5) Институтом экономики и организации промышленного производства СО РАН (руководитель работ М.А. Ягольницер).

**Таблица 5. Интегральные показатели экономической эффективности переработки рассолов хлоридного кальциевого типа месторождений Иркутской области за 20-летний период функционирования предприятия, тыс. т [4]**

Показатели	Варианты переработки		Себестоимость, руб./т	
	1	2	1	2
Хлорид кальция (гранулированный)	3800	3800	970	715
Карбонат лития	—	31,5	—	34544
Бром (бромпродукты)	—	203,0	—	12805
Оксид магния*	1155	1089	1698	1262
Буровые растворы, тыс. м <sup>3</sup>	24915	24915	484 (руб./м <sup>3</sup> )	357 (руб./м <sup>3</sup> )
Стоимость реализуемой продукции, млн руб.	45726	74809		
Капитальные затраты, всего, млн руб.	1395	1900		
Операционные издержки, млн руб.	19124	22668		
Чистая прибыль, млн руб.	20160	39627		
Чистый дисконтированный доход, млн руб.	3498	8018		
Внутренняя доходность, %	41,9	64,9		
Срок окупаемости, лет	5,4	4,2		

\* Суммарное содержание ( $MgO + MgCl_2$ ) в пересчете на  $MgO$ .

Оба варианта за весь период функционирования предприятия являются положительными, т.е. находятся в прибыльной области. Себестоимость получаемого химическим путем оксида магния составляет 25–34 % от существующей средней стоимости  $MgO$  (~5000 руб./т).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кондаков, Д.Ф. Получение гидроксида магния из природного хлоридно-магниевого сырья [Текст] / Д.Ф. Кондаков, В.П. Данилов // Хим. технология. — 2007. — Т. 8, № 1. — С. 2–5.
2. Коцупало, Н.П. Химия и технология получения соединений лития из литиеносного гидроминерального сырья [Текст] / Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев. — Новосибирск, 2008. — 291 с.
3. Зырянова, В.Н. Магнезиальное вяжущее из шламов магнийхлоридных рассолов [Текст] / В.Н. Зырянова, Г.И. Бердов, В.И. Верещагин // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 8. — С. 21–25.
4. Рябцев, А.Д. Перспективы комплексной переработки поликомпонентных литиеносных рассолов России [Текст] / А.Д. Рябцев, Н.П. Коцупало, М.А. Ягольницер, В.М. Маркова, Н.З. Ляхов // Минеральные ресурсы России. — 2007. — № 6. — С. 44–50.

*ЗЫРЯНОВА Валентина Николаевна, д-р техн. наук, проф.; E-mail: VNZyr@mail.ru*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*БЕРДОВ Геннадий Ильич, д-р техн. наук, проф.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*ВЕРЕЩАГИН Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф.*

*Томский политехнический университет*

*КОЦУПАЛО Наталья Павловна, д-р техн. наук, науч. консультант*

*АО «Экостар-Ноутех», г. Новосибирск*

*РЯБЦЕВ Александр Дмитриевич, д-р техн. наук, директор*

*АО «Экостар-Ноутех», г. Новосибирск*

Получено 11.12.13

**Zyryanova Valentina Nikolaevna**, doctor of technical sciences, professor, E-mail: VNZyr@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Berdov Gennady Ilyich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Vereshagin Vladimir Ivanovich**, doctor of technical sciences, professor, Tomsk Polytechnic University, Russia

**Kocupalo Natalya Pavlovna**, doctor of technical sciences, scientific adviser for the joint-stock company «Ecostar-Nouteh», Novosibirsk, Russia

**Rybatshev Aleksandr Dmitriyevich**, doctor of technical sciences, director of the joint-stock company «Ecostar-Nouteh», Novosibirsk, Russia

## **COMPOUND MAGNESIA CEMENTING AND BUILDING MATERIALS FROM NATURAL HIGHLY MINERALIZED BRINES OF POLYCOMPONENT**

Showing the technological features of magnesium (oxide and magnesium chloride) of multiple calcium chloride brines, chloride magnesium and mixed types. Based on these products received this waterproof composite binder and cheap construction materials.

**Key words:** brine, magnesium oxide, bischofite, magnesium binder, magnesium binder composition, economic al efficiency.

REFERENCES

1. Kondakov, D.F. Getting natural magnesium hydroxide magnesium chloride raw materials [Text] / D.F. Kondakov, V.P. Danilov // Chemical engineering. — 2007. — Vol. 8, N 1. — P. 2–5.
  2. Kocupalo, N.P. Chemistry and technology of production of lithium compounds from litienosnogo of hydro resources [Text] / N.P. Kocupalo, A.D. Ryabtsev. — Novosibirsk, 2008. — 291 p.
  3. Zryanova, V.N. Magnesia astringent from product processing of magnesium-chlorid brine [Text] / V.N. Zryanova, G.I. Berdov, V.I. Vereshagin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 8. — P. 21–25.
  4. Ryabtsev, A.D. Prospects for integrated treatment of multiple litienosnyh brines of Russia [Text] / A.D. Ryabtsev, N.P. Kocupalo, M.A. Yagolnicer, V.M. Markova, N.Z. Lyakhov // Mineral resources of Russia. — 2007. — N 6. — P. 44–50.
-

**УДК 691.4.000.3**

**В.Г. БЕЗБОРОДОВ, Л.Ф. МЕДЕНЦОВ, Н.Л. МЕДЕНЦОВА**

**ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ  
И СТЕПЕНИ ДИСПЕРСНОСТИ  
ФЛЮСУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА НА СТРУКТУРУ  
И СВОЙСТВА ПЕНОКЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ СУГЛИНКА**

Исследовано влияние на структуру высокопористой керамики механоактивационной обработки вспененной суспензии сырьевой смеси и степени дисперсности стеклопорошка, вводимого в смесь в качестве плавня. Совершенствование структуры черепка обеспечило значительный рост коэффициента конструктивного качества готовых образцов керамики. В лабораторных условиях из масс на основе суглинка получен конструкционно-теплоизоляционный материал прочностью 0,8–8,7 МПа при плотности образцов 400–850 кг / м<sup>3</sup>.

**Ключевые слова:** суглинок, силикатное стекло, вспененная суспензия, пенокерамика, структура керамического черепка, коэффициент конструктивного качества, дисперсность порошка, механоактивация, гомогенизация.

Настоящей статьей завершается ряд публикаций по материалам исследования влияния технологических факторов на структуру и свойства пенокерамики [1–4]. Отличительной особенностью пенного способа получения высокопористого керамического материала является то, что ячеистая структура изделия закладывается на этапе изготовления сырца. В связи с этим главной технологической задачей становится сохранение предельно низкой плотности при обеспечении необходимой прочности керамического черепка. Хорошие результаты по ее решению получены в ОАО «ВНИИстрой им. Будникова»<sup>1</sup>. Керамические изделия, изготовленные по технологии холодного вспенивания, характеризовались прочностью на сжатие 2,5–7,5 МПа при средней плотности 400–700 кг / м<sup>3</sup>.

Достоинства пенного способа изготовления высокопористой керамики известны: возможность управления процессом порообразования, применения метода механоактивации сырьевой смеси в жидкой среде, использования опыта и оборудования по производству пенобетона. При этом, как показывают лабораторные исследования и производственный опыт, серьезной проблемой пенной технологии оказывается большая огневая усадка и относительно низкая прочность керамического черепка. Для поиска решения проблемы качества пенокерамики возникла необходимость в создании ее структурной модели.

Анализ научной информации и результатов исследований, ранее выполненных авторами, позволяет сформулировать модельные представления о структуре ячеистой керамики, полученной обжигом образцов, сформированных из вспененной водной суспензии смеси порошков суглинка и силикатного стекла.

<sup>1</sup> Езерский В.А., Кролевский Д.В., Горбунов Г.И. Поризованная стеновая керамика — преимущества и недостатки технологии. URL: <http://www/stroinauka.ru/biblio.asp&d=12&udc=26&dpr=o&dr=5872> (Дата обращения: 30.01.2014)

1. Пенокерамика представляет собой высокопористый спек твердых частиц суглинка, зерен кварца, полевого шпата, соединенных между собой прослойками стекла, в которых выкристаллизовались новообразования — сростки кристаллов муллита, шпинелей, гематита, хлорита. Глинистые минералы в процессе спекания полностью перешли в стекловидный расплав. В стекле частично растворились зерна кварца и полевого шпата. Их присутствие в расплаве повышает вязкость стеклофазы.

2. Физико-механические свойства пенокерамики определяются составом и структурой тела межпоровой перегородки, состоящей из частиц твердой фазы, сцепленных расплавом стекла. Прочность керамического черепка зависит от степени развития химических связей, возникших на межфазовой границе твердое тело — расплав. Количество связей находится в прямой зависимости от площади контактных зон, образованных прослойками расплава. Таким образом, замкнутость пор и сплошность межпоровых стенок обусловлены количеством расплава. При недостатке стеклофазы каркас черепка формируется рыхлым и непрочным, а ее избыток ведет к высокой скорости уплотнения материала. В нашем случае установлено оптимальное соотношение компонентов сырьевой смеси: суглинок : силикатное стекло, равное 4:1 по весу.

3. Структура черепка пенокерамики на основе суглинка формируется по механизму спекания с участием жидкой фазы. Жидкофазное спекание порошкообразных тел описывается уравнением Кингери<sup>2</sup>, из которого следует, что скорость спекания находится в прямой зависимости от поверхностного натяжения стекловидного расплава и в обратной — от его вязкости и размера частиц твердой фазы. Влияние поверхностного натяжения и текучести расплава на спекание высокопористой керамики достаточно полно рассмотрено в работе [2].

Из модельных представлений следует, что значительную роль в формировании каркаса ячеистой керамики играет дисперсность стеклопорошка. С уменьшением размера частиц растет удельная поверхность этого компонента шихты, соответственно увеличивается площадь контактных зон между частицами стекла и суглинка при условии создания однородного состояния смеси компонентов. При высокой дисперсности стеклопорошка и полном смачивании его расплавом частиц твердой фазы на последних образуются перемычки, связывающие твердые частицы в монолитный каркас.

Целью настоящего исследования являлась оценка влияния на структуру пенокерамики степени дисперсности стеклопорошка и механоактивационной обработки суспензии сырьевой смеси в роторном аппарате модуляции потоков (РАМП). Для сопоставления результатов исследования использовался структурный критерий — коэффициент конструктивного качества:

$$K = \frac{R_{ct}}{\rho},$$

где  $R_{ct}$  — предел прочности керамики на сжатие, Па;  
 $\rho$  — плотность керамики, кг/м<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Кингери У.Д. Введение в керамику: Пер. с англ. М., 1967. 499 с.

Испытания на прочность и измерение плотности проводились на образцах-кубиках размером 20×20×20 мм. Образцы опытных партий изготавливались по методике, описанной в работе [1].

В рамках эксперимента было изготовлено три партии образцов. Основу сырьевой массы всех партий составлял порошок суглинка, подготовленный по технологии строительного кирпича и пропущенный через сито с размерами ячейки в свету 0,14 мм. В первой и второй партиях в качестве второго компонента (плавня) использовался стеклопорошок, полученный помолом боя листового стекла марки М6 (ГОСТ 111–90). Дисперсность порошка характеризовалась средним размером зерна 37 мкм и остатком на сите 0,071 мм в количестве 14 % по весу. Третья партия была изготовлена из сырья, в состав которого входил тонкодисперсный стеклопорошок, полученный методом отмучивания. Использовалась фракция с размерами зерен от 0,1 до 10 мкм. Формовочная масса в виде концентрированной вспененной суспензии перед заливкой в формы прогонялась через диспергатор-гомогенизатор РАМП. В аппарате частицы твердой фазы подвергались дополнительному диспергированию. После высушивания образцы всех партий обжигались в режиме: нагрев со скоростью 16–17 °С/мин, изотермическая выдержка при 1050 °С в течение двух часов и охлаждение вместе с печью со скоростью 3,5 °С/мин.

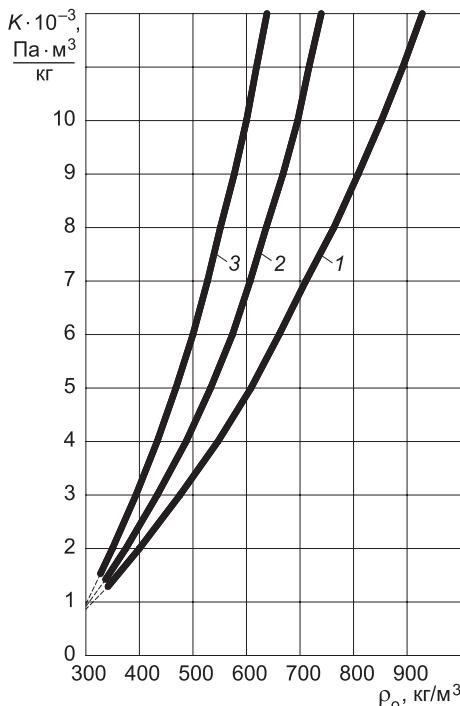


Рис. 1. Зависимости коэффициента конструктивного качества ( $K$ ) пенокерамики от плотности образца после сушки ( $\rho_0$ )

1 — сырьевая масса не подвергалась механоактивационной обработке; 2 — сырьевая масса обрабатывалась в РАМП; 3 — сырьевая масса содержала тонкодисперсное стекло фракции от 0,1 до 10 мкм и обрабатывалась в РАМП

По данным эксперимента строились линии распределения значений структурного критерия в зависимости от плотности высушенных образцов.

Положение линии 2 в поле координат  $K-\rho_0$  (рис. 1) отражает влияние механоактивационной обработки вспененной массы в РАМП на структуру готового образца. Смещение линии в зону низких значений  $\rho_0$  относительно линии 1 обусловлено повышением прочности образцов с пониженной плотностью. Улучшение структуры пористого черепка связано с увеличением числа и расширением площади контактных зон между твердой и жидкой фазами. Увеличение угла наклона этой линии к оси  $\rho_0$  указывает на повышенную активность расплава стеклофазы даже в условиях значительной разобщенности частиц суглинка.

Влияние длительности обработки пеномассы в РАМП показано на рис. 2.

За счет дополнительного диспергирования происходило уплотне-

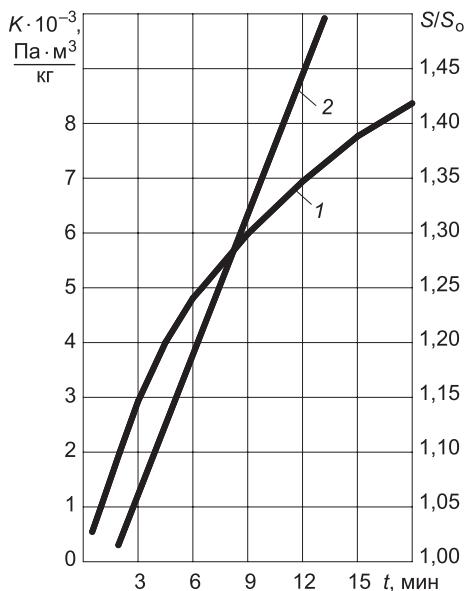


Рис. 2. Влияние времени обработки сырьевой смеси в РАМП на рост дисперсности частиц твердой фазы (1) и коэффициент конструктивного качества пенокерамики (2)

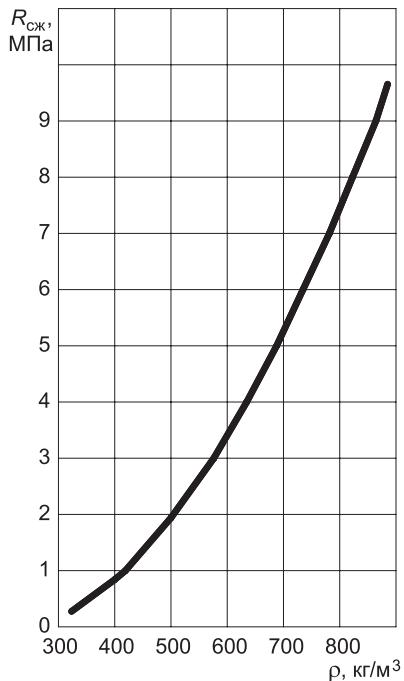


Рис. 3. Связь прочности на сжатие и плотности образцов пенокерамики, сырьевая смесь которой обрабатывалась в РАМП и содержала тонкодисперсный порошок стекла в качестве плавня

ние пеномассы, сопровождаемое повышением ее вязкости. В результате шло нарастание прочности керамического черепка, определяемое зависимостью  $K = f(\rho_0)$ . Следует добавить, что при прогоне суспензии через РАМП пенная структура частично разрушалась.

Чистое влияние степени дисперсности стеклопорошка на структуру пенокерамики показывает ход линии 3 (см. рис. 1). Введение в состав сырьевой смеси тонкой фракции отмыченного стекла вызвало повышение прочности на сжатие до значений 0,8–8,7 МПа при плотности образцов 400–850 кг/м<sup>3</sup> (рис. 3). Указанный эффект был достигнут за счет усиления связующего действия стекловидного расплава. Увеличение контактной площади частиц твердой фазы с расплавом повысило прочность ячеистого каркаса керамики. Анализ зависимостей  $K = f(\rho_0)$  показывает, что применение механоактивационной обработки в РАМП увеличило коэффициент конструктивного качества в 1,5 раза, а введение в сырьевую массу тонкодисперсной фракции стеклопорошка дало дополнительное приращение  $K$  на 50 %.

**Вывод.** Введение в технологию изготовления изделий из пенокерамики операции обработки пеномассы в диспергаторе-гомогенизаторе РАМП и использование в качестве активатора спекания тонкодисперсного порошка силикатного стекла в значительной мере улучшило структуру черепка высокопористой керамики, полученной из некондиционного глинистого сырья — суглинка. Совершенствование структуры указанным способом обеспечило повышение прочности пенокерамики при сохранении низкой плотности образцов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безбородов, В.Г. Спекание вспененных глинистых масс [Текст] / В.Г. Безбородов, Л.Ф. Меденцов, О.Б. Быкасова, Н.Л. Меденцова // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 10. — С. 28–34.
2. Безбородов, В.Г. Межфазовое взаимодействие в системе суглинок — стекло при спекании керамики [Текст] / В.Г. Безбородов, Л.Ф. Меденцов, О.Б. Быкасова, Н.Л. Меденцова // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 4. — С. 88–95.
3. Безбородов, В.Г. Влияние технологических факторов на свойства пенокерамики на основе суглинков [Текст] / В.Г. Безбородов, Л.Ф. Меденцов, А.В. Брюков, Н.Л. Меденцова // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 10. — С. 19–25.
4. Безбородов, В.Г. Оценка степени спекания пенокерамики на основе суглинка [Текст] / В.Г. Безбородов, Л.Ф. Меденцов, А.В. Брюков, Н.Л. Меденцова // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 2. — С. 98–101.

*БЕЗБОРОДОВ Владилен Геннадьевич, д-р техн. наук, проф.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

*МЕДЕНЦОВ Лев Федорович, канд. техн. наук, проф.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

*МЕДЕНЦОВА Наталья Львовна, ст. препод.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

Получено 02.12.13

**Bezborodov Vladilen Gennadievich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Medentsov Lev Fedorovich**, candidate of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Medentsova Natalya Lvovna**, senior lecturer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **EFFECT OF MECHANICAL ACTIVATION OF THE RAW MATERIAL MIXTURE AND THE DEGREE OF DISPERSION OF FLUX COMPONENT ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF FOAM CERAMICS ON THE BASIS OF FOAM**

It was investigated the influence on the structure of high porous ceramic mechanical activation processing of foam suspension of the raw mixtures and degree of dispersion of the powder, you enter in a mix in as smoothly. Improving the structure of the crock ensured significant growth factors of structural quality of ready-made samples of ceramics. In laboratory conditions of authors have received structural heat-insulating material with a strength of 0,8–8,7 MPa at a density of samples 400–850 kg/m<sup>3</sup> of the basis of foam.

**Key words:** loam, sand-lime glass, foam suspension, foam ceramics, the structure of a ceramic crock, coefficient of structural quality, dispersion of the powder, mechanical activation, gomogenization.

## REFERENCES

1. Безбородов, В.Г. Сакание вспененных глинистых масс [Текст] / В.Г. Безбородов, Л.Ф. Меденцов, О.Б. Быкасова, Н.Л. Меденцова // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2007. — N 10. — P. 28–34.

2. Bezborodov, V.G. Interphase interaction in a loam-glass system during ceramics sintering [Text] / V.G. Bezborodov, L.F. Medentsov, O.B. Bykasova, N.L. Medentsova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 4. — P. 88–95.
  3. Bezborodov, V.G. The influence of technological factors on properties of foamed ceramic on basis of the loam [Text] / V.G. Bezborodov, L.F. Medentsov, A.V. Bryukov, N.L. Medentsova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 10. — P. 19–25.
  4. Bezborodov, V.G. Assessment of the degree of sintering the porous ceramics on the basis of clay [Text] / V.G. Bezborodov, L.F. Medentsov, A.V. Bryukov, N.L. Medentsova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 2. — P. 98–101.
-

# **ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**УДК 69.05:658.562**

**С.В. ВОЛКОВ, В.Н. ШВЕДОВ**

## **ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА УРОВЕНЬ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА И БЕЗОПАСНОСТЬ ВОЗВОДИМЫХ ЗДАНИЙ**

Выявлено влияние организационно-технологических решений на уровень качества строительства и безопасность возводимых зданий, предложен способ определения уровня качества строительства и безопасности возводимых зданий.

**Ключевые слова:** организационно-технологическое проектирование, уровень качества строительства и безопасности возводимых зданий, организация и технология строительства.

Обеспечение требуемого уровня качества строительства и безопасности возводимых зданий является приоритетной задачей современных проектных и строительных организаций. При определении и оценке уровня качества строительства с позиции обеспечения надежности и безотказности несущих конструкций возводимых зданий следует помнить о жизни и здоровье людей, пользующихся построенными объектами, а также о необходимости решения вопросов охраны окружающей среды. Надежность и безопасность построенных зданий может оказаться существенно сниженной в результате недостатков организационно-технологических решений (ОРТ), организационно-технологических схем (ОТС), принятых в ходе организационно-технологического проектирования [1, 2].

Качество возводимых зданий определяется иерархией потребительских свойств. Общие свойства высшего уровня могут быть разложены на простые свойства следующего уровня рассмотрения, образуя так называемое дерево свойств. На самом высоком уровне находится обобщенное качество, на самом низком — простые свойства, которые оцениваются единичными показателями качества. Более сложные свойства оцениваются комплексными показателями качества (групповыми, обобщенными и интегральными). При формировании номенклатуры показателей качества особое внимание следует обратить на внешнесистемные полезные показатели: безопасность (техническая, механическая, биологическая), надежность, экологичность.

Показатели безопасности должны быть выделены в отдельную группу. Они должны входить в систему экологического нормирования, преду-

сматривающую технические нормативы воздействия на окружающую среду и нормирование размещения объектов строительства с целью обеспечения комфортных условий жизнедеятельности человека и поддержания экосистем в равновесном состоянии.

Система показателей для оценки уровня качества строительства и безопасности возводимых зданий должна определяться целями и задачами оценки, а также учитывать принципы организации строительного производства на основе системного и процессного подходов. Для характеристики объекта управления в системном подходе применяют следующие показатели [3]:

- Э — структура элементов и связей системы;
- Х — характеристики, параметры и свойства продукции;
- Ц — задачи, функции и цели управления;
- В — взаимосвязи системы с внешней и внутренней средой;
- С — стоимость;
- Т — время.

Критерии качества функционирования системы можно задать в виде функционала:

$$\Phi = f\{\Pi, B, \mathcal{C}\}, \quad (1)$$

где  $\Pi = f\{\mathcal{E}, X, C\}$ .

Причинно-целевое назначение рассматриваемого процесса управления качеством строительства и безопасности возводимых зданий представлено на рис. 1.

В ходе развития во времени процесс с характеристиками  $\Pi = f\{\mathcal{E}, X, C\}$  преобразует информационные, энергетические, человеческие, материальные и другие ресурсы на входе (В) в определенный результат на выходе (Ц). Исходя из логики системного подхода, функция процесса обуславливает некоторую оптимальную структурно-параметрическую модель объекта, который имеет определенную стоимость, обеспечивающую выполнение главной полезной цели, задач и функций Ц, в заданных условиях В, в течение определенного времени Т.

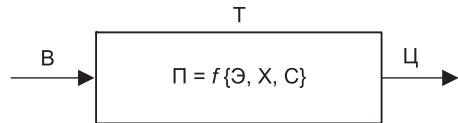


Рис. 1. Причинно-целевое назначение процесса управления качеством строительства и безопасности возводимых зданий

Процессный подход определяется совокупностью организационной структуры управления предприятием, задачами управления ресурсами, производственными процессами, включая процессы проектирования, планирования, организации и управления строительством, которые можно представить в виде аргументов системы менеджмента качества на основе стандартов ИСО серии 9000 в следующем общем виде:

$$K = f\{X, M_t, M_w, \Pi, O, M_o, \mathcal{C}, CMK\}, \quad (2)$$

где К — качество; Х — характеристики продукции, процессов, услуг;  $M_t$  — материальные ресурсы;  $M_w$  — машины, оборудование, оснастка;  $\Pi$  — проектирование, в том числе проектирование организационно-технологической документации (ОТД); О — организация, планирование и

управление строительством;  $M_o$  — методы организации и технологии строительного производства; Ч — человек; СМК — система менеджмента качества.

В существующей практике строительные организации редко учитывают затраты на качество и безопасность будущих готовых объектов. Такие затраты и потери не соотносятся по видам дефектов, статистические методы применяются слабо, влияние ОТР, ОТС строительства на уровень качества и безопасность возводимых зданий, как правило, не учитывается. На основе описанных подходов предлагается модель комплексной оценки уровня качества строительства и безопасности возводимых зданий, представленная на рис. 2.



Рис. 2. Модель комплексной оценки уровня качества строительства и безопасности возводимых зданий

Для комплексной оценки уровня качества строительства и безопасности возводимых зданий предлагается шесть групп критериев (табл. 1), учитывающих все требования ИСО 9000 [4]. Система оценки качества и безопасности возводимых зданий включает в себя оценку качества строительства зданий, оценку качества проектной документации и ОТД, оценку качества возводимых конструкций зданий.

**Таблица 1. Критерии комплексной оценки качества строительства и безопасности зданий**

Группа элементов системы	Контролируемые элементы и показатели системы качества [пункты ГОСТ Р ИСО 9001–2008]
1. Организационная структура предприятия	1.1. Роль руководства организации в управлении качеством [5.1; 5.2] 1.2. Наличие и уровень работы службы качества [6.2.1] 1.3. Соответствие специальностей ИТР, профессий рабочих по видам работ [6.2.2] 1.4. Уровень квалификации специалистов, рабочих [6.2.2] 1.5. Повышение квалификации персонала (1 раз в 5 лет) [6.2.2]
2. Нормативно-техническая база предприятия	2.1. Комплектность и полнота проектной документации (ПД), ОТД, нормативно-технической документации (НТД) [7.2; 7.3] 2.2. Уровень качества ПД, ОТД, НТД, ОТР строительства зданий [7.2; 7.3] 2.3. Своевременная актуализация НТД [7.2; 7.3]
3. Материально-техническая база предприятия	3.1. Обеспеченность машинами, механизмами, оборудованием [6.3; 7.1] 3.2. Обеспеченность оснасткой, инструментом и приспособлениями [6.3; 7.1] 3.3. Лабораторное обеспечение производства СМР [6.3; 7.1] 3.4. Геодезическое обеспечение производства СМР [6.3; 7.1] 3.5. Уровень производственно-технической и технологической комплектации [7.1; 7.4] 3.6. Соблюдение норм, правил складирования, изделий, материалов и конструкций [6.3; 6.4]
4. Методы, средства контроля, измерений и испытаний	4.1. Наличие методик, карт, схем контроля качества [7.1; 7.6] 4.2. Обеспеченность средствами контроля, измерений, испытательным оборудованием [7.1; 7.6] 4.4. Проверка измерительного и испытательного оборудования [7.1, 7.6] 4.5. Своевременное обучение работников службы контроля [6.2.2] 4.6. Периодичность и объем испытаний [7.1; 7.6] 4.7. Уровень строительного контроля (входного и др.) [7.1; 7.6] 4.8. Применение статистических методов контроля [7.1; 7.6]
5. Качество СМР	5.1. Уровень качества и безопасности СМР [7.5.5] 5.2. Стимулирование качества строительства [5.4; 6.2.2] 5.3. Качество поставляемых материалов, изделий, оборудования [7.1; 7.4] 5.4. Наличие и полнота ведения журналов работ [7.5.1] 5.5. Наличие документов о качестве применяемых материалов, изделий и о скрытых работах [7.5.1] 5.6. Своевременное оформление актов сдачи-приемки СМР [7.5; 8.2] 5.7. Оформление исполнительной документации [7.5.3] 5.8. Полнота и объективность данных о качестве СМР [4.2.4; 8.2]
6. Документация СМК и регистрация данных о качестве	6.1. Оформление фактов дефектов, брака, рекламаций [8.3] 6.2. Выявление несоответствий и отклонений СМК [8.2] 6.3. Выполнение корректирующих и предупреждающих действий [8.5] 6.4. Выполнение мероприятий по качеству, плана-графика работы по качеству [5.4.2; 8.5] 6.5. Анализ причин и подготовка предложений по качеству [7.2.2; 8.4]

Каждая группа элементов СМК оценивается экспертыным методом по каждому критерию. Для обеспечения достоверности оценки рекомендуется привлекать независимых экспертов: представителей органов управления саморегулируемых организаций (СРО), надзорных и контрольных органов, органов сертификации, вышестоящих органов строительных объединений и др. Эксперты оценивают элементы системы по шкале от 0 до 1 [3]. В целях согласования мнений экспертов применяют правила [3], представленные в табл. 2.

Таблица 2. Правила экспертных оценок элементов СМК

Экспертная оценка	Стандартные высказывания о соответствии по критерию		
	установленных требований	масштаба применения	документирования и выполнения
0,9–1,0	Очевидное соответствие (отлично)	Полный потенциал	Документировано и выполняется
0,65–0,9	Высокое соответствие (хорошо)	3/4 потенциала	Не документировано, но полностью выполняется
0,35–0,65	Среднее соответствие (удовлетворительно)	1/2 потенциала	Документировано и частично выполняется
0,1–0,35	Недопустимое (неудовлетворительно)	1/4 потенциала	Документировано, но не выполняется

За итоговую оценку по каждому оцениваемому элементу СМК рекомендуется принимать минимальную из всех оценок экспертов. Групповая оценка элементов СМК рассчитывается как средняя арифметическая единичных оценок по каждой из шести групп элементов СМК. Комплексная оценка качества строительства и безопасности возводимых зданий определяется по формуле:

$$K_{\text{смк}} = \sum_{i=1}^6 R_i K_{\text{смк}i}, \quad (3)$$

где  $R_i$  — коэффициенты весомости групповых оценок экспертов;  $K_{\text{смк}i}$  — групповые оценки элементов.

В зависимости от полученного значения комплексной оценки возможна следующая градация уровня качества: высокий уровень СМК (отлично); средний (хорошо); удовлетворительный (удовлетворительно); недопустимый (неудовлетворительно). Границы интервала могут меняться в зависимости от особенностей организаций, мнений экспертов и целей оценки. Результаты оценки могут использоваться при приемке готовой продукции, при выдаче свидетельств СРО о допуске к выполнению работ, при страховании рисков, проведении тендров, конкурсов по качеству и др. Анализ влияния ОТР, ОТС на уровень качества строительства и безопасность возводимых зданий представлен в табл. 3 [1, 2].

**Выводы.** 1. Качество строительства и безопасность возводимых зданий могут оказаться существенно сниженными в результате недостатков организационно-технологических решений, схем, принятых в ходе организационно-технологического проектирования.

**Таблица 3. Влияние ОТР, ОТС на уровень качества и безопасности зданий по группам СМК**

Группа элементов СМК	Административные, организационно-технологические решения, схемы строительства зданий
1	2
1. Организационная структура предприятия	<p>Построена на принципах СМК, системного и процессного подходов, включает в себя руководителей по управлению процессами и ресурсами строительного производства на основе выполнения определенных функций и задач управления</p> <p>Включает службу качества (не менее 3 чел.), обеспечивающую выполнение планов работы по качеству, в том числе функционирование системы контроля, испытаний</p> <p>По каждому виду СМР определенное число руководителей, специалистов, рабочих организации имеет соответствующую квалификацию, опыт работы по специальности, высшее, среднее профильное образование и периодическое повышение квалификации 1раз в 5 лет</p>
2. Нормативно-техническая база предприятия	<p>ОТД (ПОС, ППР и др.) для строительства зданий разработана в полном объеме, с применением прогрессивных проектных решений, строительных конструкций, материалов, технологий, оборудования, способов организации и методов производства работ</p> <p>Проекты организации строительства (ПОС) и производства работ (ППР) на строительство зданий обеспечивают комплексное решение задач организации строительства и производства работ</p> <p>ППР включают в себя обязательные разделы по геодезическому обеспечению и контролю производства СМР</p> <p>Технологические карты (ТК) разрабатываются в достаточном количестве в зависимости от вида СМР, состава элементов и конструктивных частей возводимого здания</p> <p>Уровень качества проектной и организационно-технологической документации определяется по утвержденной методике</p> <p>Оценка эффективности ОТР, ОТС строительства производится с помощью принятых критерии по рыночным технико-экономическим показателям</p> <p>ОТР, схемы строительства зданий принимаются только после соответствующих обоснований, на основе вариантного проектирования</p>
3. Материально-техническая база предприятия	<p>Графики поставок на объект изделий, строительных конструкций, материалов, машин, оборудования учитывают особенности возводимого здания, его ОТР, ОТС, в том числе местоположение, сроки выполнения работ и сдачи объекта, согласно утвержденному календарному плану строительства</p> <p>Обеспеченность инструментом, оснасткой, приспособлениями для строительного производства достигается путем внедрения соответствующих нормокомплектов по видам СМР и результатам аттестации рабочих мест</p> <p>Обеспеченность средствами контроля, испытаний и измерений достигается с помощью утвержденных на предприятии соответствующих методик проведения измерений, испытаний, планов и мероприятий по качеству</p> <p>Схемы строповки, складирования изделий, материалов, конструкций разрабатываются в составе ТК в необходимом количестве, в соответствии с требованиями, наглядно оформляются и находятся в доступном месте</p>

Окончание табл. 3

1	2
<p><b>4. Методы, средства контроля, измерений и испытаний</b></p>	<p>В ТК, схемах операционного контроля определены методы и средства измерений и испытаний в необходимом количестве, в соответствии с требованиями действующих стандартов, технических условий (технических свидетельств) на материалы, изделия</p> <p>В зависимости от вида измерительного и испытательного оборудования по договору со специализированными организациями или самостоятельно проводится его поверка, с оформлением соответствующих документов, актов</p> <p>Объем и методы статистического контроля, испытаний, их периодичность определены соответствующими методиками и оформлены стандартом</p> <p>Уровень контроля качества определяется документацией СМК предприятия, а также требованиями заказчиков, определенными в договорах (контрактах) подряда на строительство зданий</p>
<p><b>5. Качество СМР</b></p>	<p>При проведении входного контроля все поступающие на объект изделия, материалы, конструкции, оборудование сопровождаются сертификатами качества, с регистрацией в соответствующих журналах</p> <p>На предприятии внедрена система мотивации сотрудников за качество выпускаемой продукции (премии за отсутствие брака, дефектов, проводятся смотры-конкурсы профессий, дни качества и другие мероприятия)</p> <p>Освидетельствование скрытых работ, исполнительной документации проводится комиссионно, с оформлением соответствующих актов</p> <p>Полнота и объективность данных о качестве СМР подтверждается соответствующими записями, согласно утвержденному стандарту организации</p> <p>Уровень качества и безопасности возводимых зданий определяется регулярно экспертыным методом или другими методами</p>
<p><b>6. Регистрация данных о качестве</b></p>	<p>При обнаружении в результате поэтапной приемки дефектов работ, конструкций, участков инженерных сетей соответствующие акты оформляются только после устранения выявленных дефектов</p> <p>Несоответствия и отклонения в СМК оформляются соответствующими документами и анализируются. При этом проектная и организационно-технологическая документация дорабатывается и корректируется</p>

2. В соответствии с требованиями стандартов ИСО серии 9000 предложена совокупность контролируемых показателей системы качества строительно-монтажной организации, подлежащих оценке экспертными методами с целью проведения комплексной оценки уровня качества строительства и безопасности возводимых зданий. Контролируемые показатели характеризуют следующие элементы системы качества: организационную структуру предприятия; нормативно-техническое обеспечение; материально-техническую базу; совокупность методов и средств контроля, измерений и испытаний; систему мер по регулярному определению достигнутого уровня качества и обеспечению соответствия строительной продукции требуемому уровню качества.

3. Выявлены административные, организационно-технологические решения и организационно-технологические схемы строительства, выработанные в процессе организационно-технологического проектирования, оказывающие влияние на уровень качества строительства и безопасность возводимых зданий.

4. Предложен способ определения уровня качества строительства и безопасности возводимых зданий на основе комплексной оценки качества элементов СМК по заданным критериям и показателям.

На основе проведенного анализа выявлено влияние организационно-технологических решений, схем строительства на уровень качества и безопасность возводимых зданий. В ходе дальнейших научных исследований необходимо разработать методику определения и оценки уровня подготовки организационно-технологической документации.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 48.13330.2011 (Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004) : Организация строительства [Текст]. — М., 2011. — 21 с.
2. СТО НОСТРОЙ 2.33.14-2011. Организация строительного производства. Общие положения [Текст]. — М. : Изд-во БСТ, 2012. — 64 с.
3. Байбурин, А.Х. Качество и безопасность строительных технологий : моногр. [Текст] / А.Х. Байбурин, С.Г. Головнев. — Челябинск : Изд-во ЮУРГУ, 2006. — 453 с.
4. ГОСТ Р ИСО 9001:2008. Системы менеджмента качества. Требования. — М. : Стандартинформ, 2009. — 34 с.

*ВОЛКОВ Сергей Владимирович, канд. техн. наук; E-mail: wsw\_1953@mail.ru  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
ШВЕДОВ Владимир Николаевич, канд. техн. наук; E-mail: 89995@211.ru  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

Получено после доработки 16.12.13

**Volkov Sergey Vladimirovich**, candidate of technical sciences; E-mail: wsw\_1953@mail.ru, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Shvedov Vladimir Nikolaevich**, candidate of technical sciences; E-mail: 89995@211.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

#### **THE IMPACT OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DECISIONS ON THE LEVEL OF CONSTRUCTION QUALITY AND SAFETY OF BUILDINGS**

Influence of organizational and technological decisions on the level of construction quality and safety of the constructed high-rise buildings, a method for determining the level of construction quality and safety of high-rise buildings on the basis of the assessment of the quality of organizational and technological solutions.

**Key words:** organizational and technological design, the level of construction quality and safety of high-rise buildings, organization and technology of construction.

#### REFERENCES

1. Joint venture 48.13330.2011 (Construction Norms and Regulations 12-01-2004) : Construction organization [Text]. — М., 2011. — 21 p.
2. The standard of the organization NOSTRO 2.33.14-2011. Organization of construction production. General provisions [Text]. — М. : limited liability company BST, 2012. — 64 p.
3. Baiburin, A.H. The quality and safety of construction technologies : Monograph. [Text] / A.H. Baiburin, S.G. Golovnev. — Chelyabinsk : Publishing house of the SUSU, 2006. — 453 p.
4. State Standard R ISO 9001:2008. Quality management systems. Requirements (IDT). — М. : Standartinform, 2009. — 34 p.

**УДК 625.173:658.527**

**Б.С. МОСАКОВ, Г.К. ЩЕПОТИН**

## **ПОВЫШЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА**

Рассмотрен вероятностный характер планирования, организации и управления производством в путевом комплексе, состоящем из множества подсистем, с целью обеспечения организационно-технологической надежности и безопасности.

**Ключевые слова:** организационно-технологическая надежность, безопасность, вероятностный метод, дефектоскопирование.

Путевое хозяйство железной дороги представляет собой сложную организационную систему управления, функционирующую в условиях вероятностного характера планирования, организации и управления производством, состоящую из множества подсистем. Данная система является разновидностью организационных систем управления.

Основная задача путевого комплекса дорог — обеспечение безопасного движения поездов с установленными скоростями. Сложность задач в принятии оптимальных управленческих решений обуславливает необходимость разработки и внедрения методов теории надежности в практику организации и управления производством. Теоретически возможно имеющимися техническими средствами обеспечить безопасность движения поездов. Однако опыт показывает, что катастрофические отказы пути с тяжелыми последствиями не такое уж редкое событие при эксплуатации железных дорог.

Современная наука о безопасности утверждает, что не может быть абсолютной безопасности в любой технологии, однако техническая безопасность любой сложной системы может быть как угодно высокой. При этом достижение заданной цели технической безопасности влечет за собой определенные экономические затраты, максимальная безопасность стоит максимальных денег [1, 2]. Для решения вопросов обеспечения безопасности движения поездов необходимо признать стохастический характер катастрофических отказов пути и выполнить вероятностный анализ данных ситуаций. Сравнительно небольшая вероятность катастрофического отказа на одном километре пути становится практически значимой, когда в эксплуатации находятся тысячи километров. При этом важно выяснить степень участия человека в создании ситуаций, приводящих к отказам с тяжелыми последствиями. Практически нет таких ошибок, которые не может совершить обслуживающий персонал [2, 3].

К исходным событиям, которые могут привести к нарушению нормальной эксплуатации (к созданию ситуации для катастрофического отказа), следует отнести возможность выхода из строя элементов пути, нарушение функционирования приборов для проверки состояния пути и

ошибочные действия обслуживающего персонала. Вероятность одновременного наступления всех этих событий весьма близка к нулю, однако это не препятствует их появлению. Например, изломы рельсов под поездами — не такое уж редкое событие для железных дорог. Все это в конечном итоге составляет миллионные потери, которые можно было бы снизить при систематическом подходе к исследованиям вопросов обеспечения безопасности движения поездов.

Проведенные в США эксперименты позволили назвать три источника погрешностей при ультразвуковой дефектоскопии рельсов. Первый источник ошибок связан с невозможностью проникновения ультразвукового луча в отдельные части головки рельса. Второй — субъективные ошибки оператора. Третий источник ошибок зависит от колебаний температуры рельсов. При повышении температуры рельсов размеры дефектов уменьшаются [4].

Таким образом, сход поезда из-за излома рельса является следствием необнаружения остродефектных рельсов при существующем технологическом процессе дефектоскопирования<sup>1</sup>.



Рис. 1. Дерево отказов

*E* — первичное событие; *B* — промежуточное событие; *D* — завершающее событие

На рис. 1 приведено дерево отказов, иллюстрирующее в системе эксплуатации пути условия, вызывающие изломы рельсов. Согласно схеме на рис. 1 вероятность появления аварийной ситуации из-за излома рельса  $R(D)$  можно определить по формуле

$$R(D) = R(E_1)R(E_2)R(E_3), \quad (1)$$

где  $R(E_1)$  — вероятность отказа рельса;

$R(E_2)$  — вероятность необнаружения отказа рельса при дефектоскопировании;

$R(E_3)$  — вероятность излома рельса при нахождении его в состоянии необнаруженного отказа.

<sup>1</sup> Шульга В.Я., Болотин А.В. Периодичность проверки рельсов // Путь и путевое хозяйство. 1993. № 4. С. 9–12.

Определение вероятности отказа рельса в процессе эксплуатации изложено в работе<sup>2</sup>. Ниже рассматривается оценка вероятности необнаружения отказов рельсов при действующей технологии осмотра пути.

Для проведения исследований по этому вопросу была реализована математическая модель организации проверок состояния рельсов средствами дефектоскопирования с учетом стохастической природы процесса.

В модели принято:  $t$  — календарное время эксплуатации пути;  $p$  — вероятность обнаружения отказа рельса во время очередной проверки;  $\tau$  — периодичность дефектоскопирования рельсов. План проверок задан последовательностью

$$X_0 = 0 < X_1 < X_2 < \dots < X_n < X_{n+1} = t.$$

Необходимо определить долю необнаруженных отказов рельсов и длительность нахождения их в данном состоянии при принятом плане проверок.

Число проверок рельсов за период  $t$  будет равно

$$n = \frac{t}{\tau}. \quad (2)$$

Обозначим  $\dot{m}'$  — интенсивность отказов рельсов (величина постоянная за период  $t$ ), шт./день.

Тогда число отказов рельсов за время  $\tau$  составит:

$$m' = \dot{m}' \tau. \quad (3)$$

Определим количество рельсов  $\varphi_n$ , которое не будет обнаружено за период  $t$  при заданном числе проверок  $n$ .

Очевидно, что величина  $\varphi_1$  при  $n = 1$  ( $t = \tau$ ) составит:

$$\varphi_1 = \dot{m}' \tau (1 - p). \quad (4)$$

Число необнаруженных отказов  $\varphi_2$  при  $n = 2$  ( $t = 2\tau$ ) будет равно

$$\varphi_2 = \dot{m}' \tau (1 - p)(1 - p) + \dot{m}' \tau (1 - p). \quad (5)$$

Аналогично определяется  $\varphi_n$  при любом значении числа проверок  $n$ :

$$\varphi_n = \dot{m}' \tau (1 - p)^n + \dot{m}' \tau (1 - p)^{n-1} + \dots + \dot{m}' \tau (1 - p)^2 + \dot{m}' \tau (1 - p) \quad (6)$$

или

$$\varphi_n = \dot{m}' \tau [(1 - p)^n + (1 - p)^{n-1} + \dots + (1 - p)^2 + (1 - p)]. \quad (7)$$

С учетом (2) перепишем:

$$\varphi_n = \dot{m}' \frac{t}{n} [(1 - p)^n + (1 - p)^{n-1} + \dots + (1 - p)^2 + (1 - p)]. \quad (8)$$

Разделим (8) на  $\dot{m}' t$ :

$$\frac{\varphi_n}{\dot{m}' t} = \frac{1}{n} [(1 - p)^n + (1 - p)^{n-1} + \dots + (1 - p)^2 + (1 - p)]. \quad (9)$$

---

<sup>2</sup> Щепотин Г.К. Эксплуатационная надежность железнодорожного пути. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. ун-та путей сообщения, 2009. 144 с.

Левая часть равенства (9) представляет собой долю необнаруженных отказов за период  $t$ , т.е.

$$R(E_2) = \frac{\Phi_n}{m' \tau}. \quad (10)$$

Окончательно запишем зависимость вероятности необнаружения отказов рельсов за период  $t$  от числа проверок  $n$  и вероятности обнаружения отказа при очередной проверке  $p$ :

$$R(E_2) = \frac{1}{n} [(1-p)^n + (1-p)^{n-1} + \dots + (1-p)^2 + (1-p)]. \quad (11)$$

Рассмотрим вывод зависимости для определения средней длительности нахождения рельса в состоянии необнаруженного отказа  $\bar{\Delta}_n$  за период  $t$  при числе проверок  $n$ .

Определим длительность  $\bar{\Delta}_1$  при  $n = 1$  ( $t = \tau$ ).

Очевидно, что

$$\bar{\Delta}_1 = \frac{\tau}{2}. \quad (12)$$

При  $n = 2$  ( $t = 2\tau$ ) величина  $\bar{\Delta}_2$  будет равна:

$$\bar{\Delta}_2 = (1-p)(1-p)\left(\frac{\tau}{2} + \tau\right) + \frac{\tau}{2} \quad (13)$$

или

$$\bar{\Delta}_2 = \tau[1,5(1-p)^2 + 0,5]. \quad (14)$$

Аналогично можно записать и для  $\bar{\Delta}_3$  при  $n = 3$  ( $t = 3\tau$ ).

Формула для  $\bar{\Delta}_n$  при числе проверок  $n$  будет иметь вид:

$$\bar{\Delta}_n = \tau[(n-0,5)(1-p)^n + (n-1,5)(1-p)^{n-1} + \dots + 1,5(1-p)^2 + 0,5]. \quad (15)$$

С учетом (2) окончательно запишем:

$$\bar{\Delta}_n = \frac{\tau}{n} [(n-0,5)(1-p)^n + (n-1,5)(1-p)^{n-1} + \dots + 1,5(1-p)^2 + 0,5]. \quad (16)$$

На рис. 2 приведены зависимости средней длительности  $\bar{\Delta}_n$  и вероятности  $R(E_2)$  необнаружения отказа рельса от периодичности дефектоскопирования

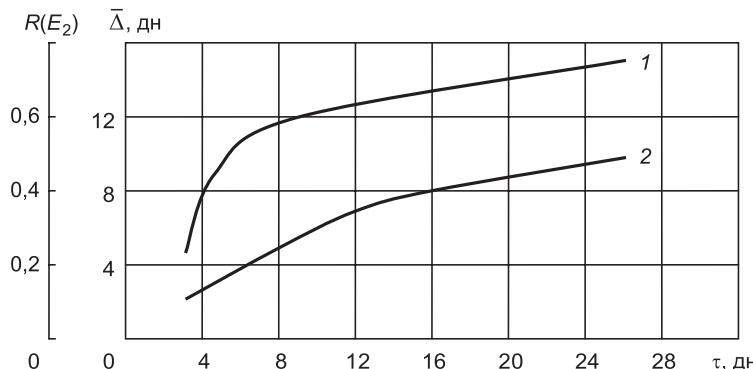


Рис. 2. Зависимость средней длительности  $\bar{\Delta}$  (1) и вероятности  $R(E_2)$  (2) необнаружения отказа от периодичности дефектоскопирования  $\tau$  при  $p = 0,5$

пирования  $\tau$  при вероятности  $p = 0,5$ . Поскольку периодичность дефектоскопирования назначается по месячному выходу рельсов, в расчетах принято  $t = 30$  дн. Как видно из графиков, с увеличением частоты проверок состояния рельсов существенно сокращается вероятность обнаружения отказов рельсов и уменьшается длительность нахождения их в этом состоянии.

Уменьшить число невыявленных отказов рельсов можно и за счет повышения вероятности  $p$ , т.е. увеличения количества обнаруженных остаточных дефектных рельсов во время очередной проверки (с помощью совершенствования средств дефектоскопирования).

На рис. 3 приведены зависимости средней длительности  $\bar{\Delta}_n$  и вероятности  $R(E_2)$  необнаружения отказа от вероятности  $p$  при периодичности дефектоскопирования  $\tau = 10$  дн. Как видно из графиков, при увеличении  $p$  до 1 значения вероятности  $R(E_2)$  стремятся к нулю, а значения  $\bar{\Delta}_n$  к величине  $\tau/2 = 5$  дн.

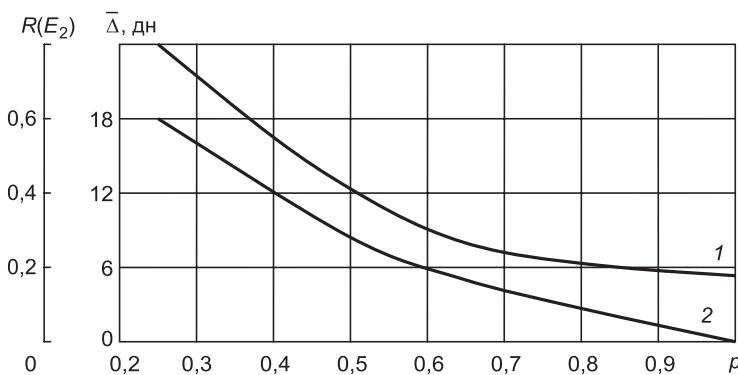


Рис. 3. Зависимость средней длительности  $\bar{\Delta}$  (1) и вероятности  $R(E_2)$  (2) необнаружения отказа от вероятности  $p$  при  $\tau = 10$  дн

Таким образом, для снижения изломов рельсов и повышения безопасности движения необходимо учитывать фактическую организационно-технологическую надежность процесса дефектоскопирования рельсов в эксплуатационных условиях железных дорог России.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барзилович, Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем [Текст] / Е.Ю. Барзилович. — М. : Высш. шк., 1982. — 231 с.
2. Диллон, Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем [Текст] / Б. Диллон, Ч. Сингх. — М. : Мир, 1984. — 318 с.
3. Томаев, Б.М. Надежность строительного потока [Текст] / Б.М. Томаев. — М. : Стройиздат, 1983. — 128 с.
4. Zarembski, A.M. Misreading rail flaw size [Текст] / A.M. Zarembski // Railway Track and Struk. — 1986. — N 3. — P. 11.

*МОСАКОВ Борис Степанович, д-р техн. наук, проф.*

*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск*  
*ЩЕПОТИН Георгий Константинович, д-р техн. наук, проф.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

Получено 04.12.13

**Mosakov Boris Stepanovich**, doctor of technical sciences, professor, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

**Shchepotin Georgy Konstantinovich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **INCREASED ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL RELIABILITY SECURITY PROCESS FLOW**

Is considered the probabilistic nature of the planning, organization and production management in road complex, which consists of many subsystems, in order to ensure the organizational and technological reliability and security.

**Key words:** organizational and technological reliability, safety, a probabilistic method, flaw detection.

### **REFERENCES**

1. Barzilovich, E.Yu. Model of technical maintenance of complex systems [Text] / E.Yu. Barzilovich. — M. : High school, 1982. — 231 p.
  2. Dillon, B. Reliability of systems engineering methods [Text] / B. Dillon, Ch. Singh. — M. : World, 1984. — 318 p.
  3. Tomaev, B.M. Reliability construction [Text] / B.M. Tomaev. — M. : Stroyizdat, 1983. — 128 p.
  4. Zaremski, A.M. Misreading rail flaw size [Text] / A.M. Zaremski // Railway Track and Struk. — 1986. — N 3. — P. 11.
-

## САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 628.5:533.6

И.Н. ЛОГАЧЕВ, К.И. ЛОГАЧЕВ, О.А. АВЕРКОВА, Е.И. ТОЛМАЧЕВА

### РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМА АСПИРАЦИИ ПРИ ПЕРЕГРУЗКАХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ КОВШОВЫМИ ЭЛЕВАТОРАМИ\*

#### Сообщение 1. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ АСПИРАЦИИ ЭЛЕВАТОРНЫХ ПЕРЕГРУЗОК

Разрабатываются схемы аспирации элеваторных перегрузок. Составлены балансовые уравнения воздухообмена аспирируемых укрытий. Сформулированы и решены системы уравнений для определения расходов перетекаемого воздуха для стандартного узла перегрузки. Предлагаются и аналитически обосновываются способы снижения производительности аспирационных систем.

**Ключевые слова:** аспирация, перегрузки сыпучих материалов, эжекция воздуха.

Данная серия статей является логическим продолжением наших работ [1–3], посвященных явлению эжекции воздуха в ковшовых элеваторах. Цель настоящей работы — разработка способов снижения производительности систем аспирации при перегрузках сыпучих материалов в ковшовых элеваторах и их аналитическое обоснование.

**1. Аэродинамическая характеристика ковшей элеватора.** Для определения параметров, характеризующих перетекание воздуха в кожухах элеватора, необходимо располагать данными о коэффициенте  $c_k$ . Этот коэффициент представляет собой отношение силы лобового сопротивления к динамическому давлению воздуха, умноженному на площадь миделя сечения ковша, при относительной скорости его движения  $w$ :

$$c_k = \frac{R}{F_k \frac{w^2 \rho}{2}}; \quad w = v_e - u. \quad (1)$$

В случае неподвижных ковшей при течении воздуха с той же скоростью  $w$  в кожухе элеватора сечением  $S$  возникают силы аэродинамического сопротивления, равные по абсолютной величине силе  $R$ :

$$R = \Delta p_k S, \quad (2)$$

где  $\Delta p_k$  — потери давления, вызванные сопротивлением неподвижного ковша и определяемые в инженерной практике с помощью коэффициента местного сопротивления (к.м.с.),

\* Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-08-31069-мол\_а), программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова, Совета по грантам Президента РФ (проект МК-103.2014.1).

$$\Delta p_k = \zeta_k \frac{w^2 \rho}{2}. \quad (3)$$

Подставляя уравнения (2) и (3) в (1), получим соотношение:

$$c_k = \frac{S}{F_k} \zeta_k,$$

с помощью которого можно найти  $c_k$ , зная к.м.с. элемента кожуха с неподвижным ковшом. Воспользуемся экспериментальными данными по сопротивлению диафрагм [4], определяющими величину к.м.с. в зависимости от площади отверстия и площади поперечного сечения канала  $S$ . В нашем случае площадь отверстия составляет:

$$S_0 = S - A_k B_k = S - F_k.$$

Размеры ковша в продольном сечении будем сопоставлять либо с прямоугольником (рис. 1, а), либо с трапецией с острыми краями (рис. 1, б) при обтекании воздуха со стороны лобовой части ковша или с тупым углом при обтекании воздуха с тыльной стороны ковша (рис. 1, в). В первом случае используем результаты для диафрагмы с утолщенными краями в прямой трубе [4, с.138]:

$$\zeta_k = \left( \zeta_0 + \lambda \frac{l}{D_r} \right) \left( \frac{S}{S_0} \right)^2, \quad (4)$$

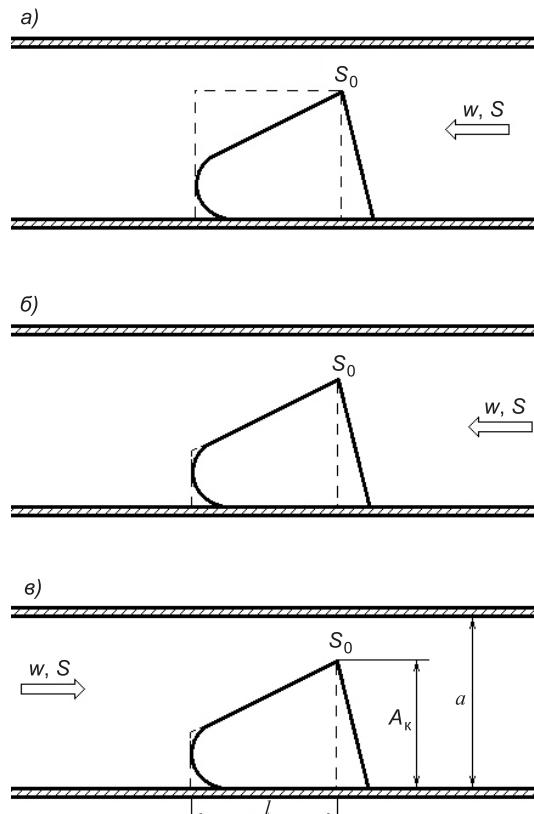


Рис. 1. Схема обтекания воздухом неподвижного ковша в кожухе

где

$$\zeta_0 = 0,5 \left( 1 - \frac{S}{S_0} \right) + \left( 1 - \frac{S_0}{S} \right)^2 + \tau \sqrt{1 - \frac{S_0}{S}} \left( 1 - \frac{S_0}{S} \right); \quad (5)$$

$D_r = \frac{4S_0}{\Pi_0} = \frac{2S_0}{a+b+A_k}$  — гидравлический диаметр отверстия;

$\lambda$  — коэффициент трения воздуха о стенки ковша ( $\lambda \approx 0,02$ );

$\tau$  — поправочный коэффициент, зависящий от глубины ковша (табл. 1).

Таблица 1

$l/D_r$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,4	2,0	$\geq 3,0$
$\tau$	1,35	1,22	1,10	0,84	0,42	0,24	0,1	0,02	0

Можно использовать более простую модель потерь давления в диафрагме с острыми краями [4, с. 139]

$$\zeta_k = \tilde{\zeta}_k = \left( 1 + 0,707 \sqrt{1 - \frac{S_0}{S}} - \frac{S_0}{S} \right)^2 \left( \frac{S}{S_0} \right)^2. \quad (6)$$

Пусть  $A_k = 250$  мм;  $B_k = 500$  мм;  $l = 300$  мм;  $a = 400$  мм;  $b = 700$  мм, тогда  $F_k = 0,125$  м<sup>2</sup>;  $S = 0,28$  м<sup>2</sup>;  $S_0 = 0,28 - 0,125 = 0,155$  м<sup>2</sup>;  $D_r = \frac{2 \cdot 0,155}{0,4 + 0,7 + 0,25} = 0,23$  м;  $\frac{l}{D_r} = 0,3 / 0,23 = 1,3$ ;  $\tau \approx 0,08$ . Подставляя эти

величины в формулы (5), (4) и (6), получим соответственно:  $\zeta_0 = 0,947$ ;  $\zeta_k = 1,56$ ;  $\tilde{\zeta}_k = 2,75$ , т.е. формула (6) дает несколько завышенные значения К.М.С.

Во втором случае (при обтекании ковша с тыльной стороны) воспользуемся экспериментальными данными для диафрагмы со срезанными по потоку краями [4, с. 141]:

$$\zeta_k = \tilde{\zeta}_k = \left( 1 + \sqrt{\xi \left( 1 - \frac{S_0}{S} \right)} - \frac{S_0}{S} \right)^2 \left( \frac{S_0}{S} \right)^2, \quad (7)$$

где  $\xi = f(l / D_r)$  — поправочный коэффициент (табл. 2).

Сопоставляя формулы (6) и (7), имеем:

$$\frac{\tilde{\zeta}_k}{\zeta} = \left( \frac{1 + 0,707 \sqrt{\left( 1 - \frac{S_0}{S} \right)} - \frac{S_0}{S}}{1 + \sqrt{\xi} \sqrt{1 - \frac{S_0}{S}} - \frac{S_0}{S}} \right)^2.$$

Таблица 2

$l/D_r$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,12	0,16
$\xi$	0,46	0,42	0,38	0,35	0,29	0,23	0,16	0,13

Как видно из графиков (рис. 2), аэродинамическое сопротивление ковша заметно выше при натекании воздуха на приемное отверстие. И чем глубже ковш, тем это отличие заметнее. Вызывает сожаление, что формула (7) применима лишь при  $l / D_r \leq 1,6$ , в то время как во многих элеваторах  $l / D_r$  намного выше ( $l / D_r > 0,5$ ).

Попытаемся сопоставить полученные результаты в частном случае тонких перегородок с сопротивлением задвижки (шибера) в прямой трубе [4, с. 356]. Для прямоугольного канала ( $a/b = 0,5$ ) к.м.с. односторонней задвижки зависит от относительной высоты просвета  $h/a$ . В табл. 3 приведены (при одинаковых  $h/a \equiv S_0/S$ ) значения к.м.с. задвижки ( $\zeta_3$ ), к.м.с. диафрагмы с острыми кромками ( $\bar{\zeta}_k$ ), вычисленные по формуле (6), к.м.с. диафрагмы с утолщенными краями ( $\zeta_k$ ), вычисленные по формуле (4) при  $l/D_r = 0$  ( $\tau = 1,35$ ), к.м.с. диафрагмы со срезанными по потоку краями ( $\tilde{\zeta}_k$ ), вычисленные по формуле (7) при  $l/D_r = 0,01$  ( $\xi = 0,46$ ).

Таблица 3

$h/a$	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
$\zeta_3$	105,0	51,5	30,6	13,5	6,85	3,34	1,73	0,83	0,32	0,09
$\bar{\zeta}_k$	246,7	100,0	51,3	18,5	8,23	4,00	2,00	0,96	0,42	0,13
$\zeta_k$	241,3	98,0	50,0	18,1	8,04	3,91	1,95	0,94	0,41	0,13
$\tilde{\zeta}_k$	238,2	96,7	49,5	17,8	7,92	3,84	1,91	0,92	0,40	0,12

Как видно из приведенных данных, значения к.м.с. тонких диафрагм с достаточной для практики точностью согласуются между собой в широком диапазоне изменения относительной площади отверстия (в области  $0,1 \leq S_0/S \leq 0,9$ ). Однако к.м.с. диафрагмы намного выше, чем к.м.с. задвижки, особенно в области небольших отверстий (при  $S_0/S < 0,2$ ), хотя в конструктивном отношении они близки.

Влияние удлинения тел на коэффициент лобового сопротивления, а также направление движения воздуха можно проследить на примере аэродинамического сопротивления классических тел: полусферы и цилиндра. При обтекании безграничным потоком воздуха выпуклой полу-сферы-чашки (открытое отверстие чашки находится в подветренной зоне) коэффициент лобового сопротивления при  $Re = \frac{wd_q}{v} = 4 \cdot 10^5$  составляет

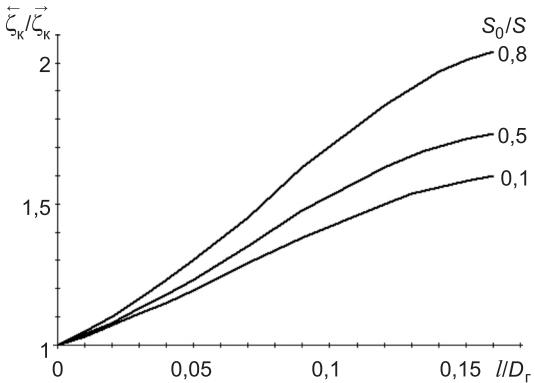


Рис. 2. Изменение к.м.с. ковша элеватора в зависимости от направления движения воздуха и глубины (по данным д-ра техн. наук, проф. И.Е. Идельчика)

ляет  $\bar{c}_q = 0,36$  [4, с. 402], а при том же числе Рейнольдса при противоположном направлении потока воздуха (открытое отверстие чашки находится в наветренной зоне) этот коэффициент в 4 раза больше ( $\bar{c}_q = 1,44$ ).

При обтекании круглого гладкого цилиндра параллельно образующей (т.е. перпендикулярно непроницаемому основанию цилиндра) коэффициент лобового сопротивления вначале уменьшается при росте длины цилиндра, а затем возрастает. Наименьшее значение коэффициента лобового сопротивления  $c_d = 0,85$  имеет цилиндр длиной, равной удвоенному диаметру основания (для тонкого цилиндра-диска  $c_d = 1$ , как и при длине, равной семи диаметрам).

Таким образом, несмотря на кажущуюся конструктивную близость исследованных перегородок, значения к.м.с. существенно разнятся для утолщенных (протяженных) перегородок. И поэтому использовать эти результаты для количественной оценки аэродинамического сопротивления ковшей различных конструкций с учетом степени заполнения их сыпучим материалом нужно с большой осторожностью. А лучше всего определять для каждого случая экспериментально.

**2. Особенности расчетной схемы аспирации элеваторных перегрузок.** Для локализации пылевыделений при перегрузке ненагретого сыпучего материала, как правило, предусматривается отсос воздуха из нижних укрытий (рис. 3): из укрытия места загрузки элеватора (из кожу-

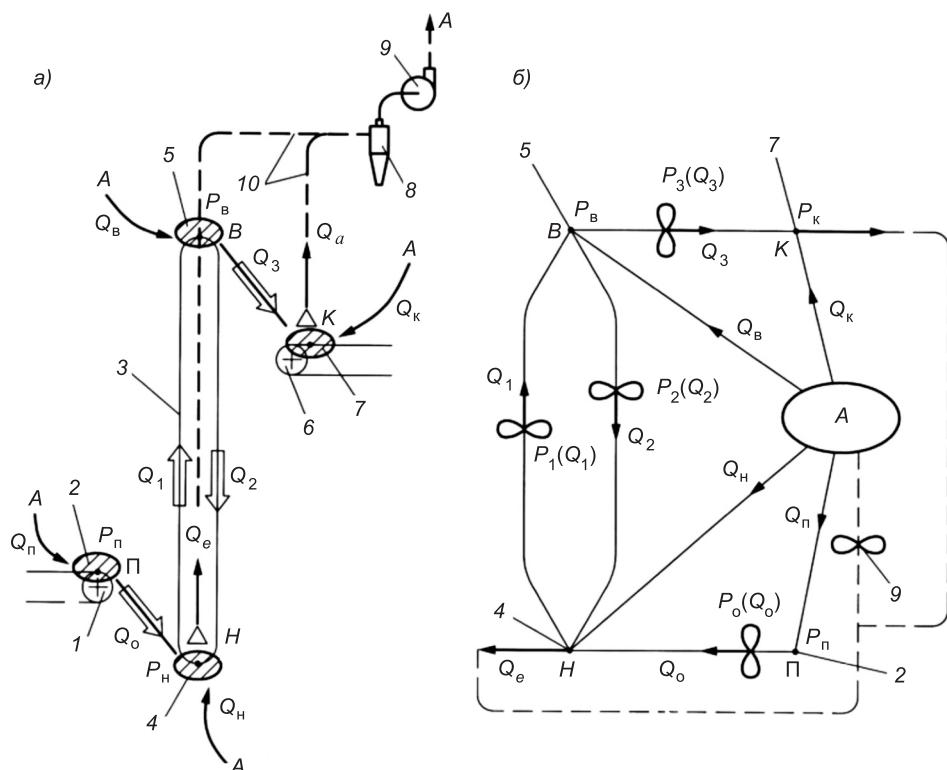


Рис. 3. Схема аспирации (а) и ее аэродинамический аналог (б):

1 — питатель ленточный; 2 — укрытие приводного барабана ленточного питателя; 3 — элеватор (нория); 4 — укрытие башмака нории; 5 — верхнее укрытие нории (укрытие приводной звездочки элеватора); 6 — ленточный конвейер; 7 — укрытие места загрузки; 8 — пылеуловитель (циклон); 9 — вентилятор аспирационной системы; 10 — воздуховоды

ха «башмака» элеватора); из укрытия места загрузки конвейера (из укрытия «башмака» разгрузочного желоба элеватора).

Предполагаем, что в неаспирируемых укрытиях: в укрытии приводного барабана нижнего конвейера (питателя) и в кожухе приводного барабана элеватора («головки» элеватора) — поддерживается достаточная величина разрежения (исключающая возможность истечения запыленного воздуха через неплотности укрытий) за счет перетекания воздуха по примыкающим желобам и кожухам элеватора.

Перетекание воздуха по этим каналам определяется следующей системой уравнений динамики воздуха в каналах:

$$P_{\text{в}} - P_{\text{н}} - P_2(Q_2) = R_2 Q_2^2; \quad (8)$$

$$P_{\text{н}} - P_{\text{в}} + P_1(Q_1) = R_1 Q_1^2; \quad (9)$$

$$P_{\text{в}} - P_{\text{к}} + P_3(Q_3) = R_3 Q_3^2; \quad (10)$$

$$P_{\text{н}} - P_{\text{н}} + P_0(Q_0) = R_0 Q_0^2; \quad (11)$$

$$P_A - P_{\text{к}} = R_{\text{к}} Q_{\text{к}}^2; \quad (12)$$

$$P_A - P_{\text{в}} = R_{\text{в}} Q_{\text{в}}^2; \quad (13)$$

$$P_A - P_{\text{н}} = R_{\text{н}} Q_{\text{н}}^2; \quad (14)$$

$$P_A - P_{\text{п}} = R_{\text{п}} Q_{\text{п}}^2 \quad (15)$$

и воздушного баланса в узлах слияния

$$Q_e + Q_1 - Q_2 - Q_0 - Q_{\text{н}} = 0; \quad (16)$$

$$Q_3 + Q_2 - Q_1 - Q_{\text{в}} = 0; \quad (17)$$

$$Q_{\text{а}} - Q_3 - Q_{\text{к}} = 0; \quad (18)$$

$$Q_0 - Q_{\text{п}} = 0; \quad (19)$$

$$Q_{\text{в}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{н}} - Q_{\text{а}} - Q_e = 0, \quad (20)$$

где  $P_{\text{в}}, P_{\text{н}}, P_{\text{п}}, P_{\text{к}}$  — абсолютные давления соответственно в укрытиях «головки» и «башмака» элеватора, в укрытиях приводных барабанов питателя и верхнего конвейера, Па;

$Q_0, Q_1, Q_2, Q_3$  — расходы воздуха, поступающего соответственно по загрузочному желобу, по кожухам грузовой и холостой ветвей конвейера элеватора, по разгрузочному желобу,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q_{\text{п}}, Q_{\text{н}}, Q_{\text{в}}, Q_{\text{к}}$  — расходы воздуха, поступающего соответственно через неплотности укрытия приводного барабана питателя, укрытия «башмака» и «головки» элеватора, укрытия места загрузки верхнего конвейера,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q_e, Q_{\text{а}}$  — расходы воздуха, удалаемого системой аспирации соответственно из укрытия «башмака» элеватора и из укрытия места загрузки сыпучего материала на верхний конвейер,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$R_0, R_1, R_2, R_3$  — аэродинамические характеристики соответственно загрузочного желоба, кожухов груженой и холостой ветвей конвейера элеватора, разгрузочного желоба,  $\text{Па}/(\text{м}^3/\text{с})^2$ , определяющие сопро-

тивление каналов перетеканию воздуха:  $R_0 = \zeta_0 \frac{\rho}{2S_0^2}$ ;  $R_1 = \sum \zeta_1 \frac{\rho}{2S_1^2}$ ;

$$R_2 = \sum \zeta_2 \frac{\rho}{2S_2^2}; \quad R_3 = \zeta_3 \frac{\rho}{2S_3^2};$$

$\zeta_0, \sum \zeta_1, \sum \zeta_2, \zeta_3$  — суммы к.м.с. соответственно загрузочного желоба, кожухов рабочей и холостой ветвей конвейера элеватора, разгрузочного желоба;

$S_0, S_1, S_2, S_3$  — площади поперечных сечений соответственно загрузочного желоба, кожухов рабочей и холостой ветвей конвейера элеватора, разгрузочного желоба,  $\text{м}^2$ ;

$\rho$  — плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$P_A$  — атмосферное давление (абсолютное давление в помещении), Па;

$R_{\text{п}}, R_{\text{h}}, R_{\text{в}}, R_{\text{k}}$  — аэродинамические характеристики неплотностей соответственно укрытия приводного барабана питателя, укрытий «башмака» и «головки» элеватора, укрытия места загрузки верхнего конвейера,  $\text{Па}/(\text{м}^3/\text{с})^2$ , определяющие сопротивление входу воздуха в укрытия через неплотности:

$$R_{\text{п}} = \zeta_{\text{п}} \frac{\rho}{2F_{\text{п}}^2}; \quad R_{\text{h}} = \zeta_{\text{h}} \frac{\rho}{2F_{\text{h}}^2}; \quad R_{\text{в}} = \zeta_{\text{в}} \frac{\rho}{2F_{\text{в}}^2}; \quad R_{\text{k}} = \zeta_{\text{k}} \frac{\rho}{2F_{\text{k}}^2}; \quad (21)$$

$\zeta_{\text{п}}, \zeta_{\text{h}}, \zeta_{\text{в}}, \zeta_{\text{k}}$  — к.м.с. неплотностей соответствующих укрытий, принимаемые равными к.м.с. отверстия в тонкой стенке [4],

$$\zeta_{\text{п}} = \zeta_{\text{h}} = \zeta_{\text{в}} = \zeta_{\text{k}} = 2,4; \quad (22)$$

$F_{\text{п}}, F_{\text{h}}, F_{\text{в}}, F_{\text{k}}$  — площади неплотностей соответственно укрытия питателя, укрытий «башмака» и «головки» элеватора, укрытия верхнего конвейера,  $\text{м}^2$ ;

$P_0(Q_0), P_1(Q_1), P_2(Q_2), P_3(Q_3)$  — эжекционные напоры как функции расходов воздуха соответственно в загрузочном желобе, в кожухах груженой и холостой ветвей конвейера элеватора, в разгрузочном желобе, Па, определяемые соотношениями (11) и (16) из статьи [1].

Если система уравнений (8)–(11) описывает перетекание воздуха по каналам, то вторая система, включающая равенства (12)–(15), определяет расходы воздуха, поступающего через неплотности соответствующих укрытий за счет перепада давлений. Система соотношений (16)–(20) представляет собой балансовые уравнения расходов воздуха соответственно в укрытиях «башмака» (16) и «головки» (17) элеватора, конвейера (18), питателя (19) и наконец (20) для фиктивного узла слияния воздушных потоков в атмосфере.

Из последнего равенства получаем соотношение:

$$Q_e + Q_a = Q_{\text{п}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{k}},$$

описывающее очевидный, но тем не менее важный факт, что общая производительность аспирационной установки определяется суммой расходов воздуха, поступающего в систему укрытий через неплотности. И для снижения энергоемкости аспирационной системы и уменьшения пылевых выбросов необходима герметизация не только укрытий, из которых

удаляется воздух местными отсосами, но и надлежащее уплотнение неаспирируемых укрытий.

С целью получения расчетных соотношений для определения расходов воздуха, перетекающего по каналам, на основании (17) и (19) запишем:

$$Q_{\text{в}} = Q_3 + Q_2 - Q_1 = Q_3 + \Delta Q; \quad \Delta Q = Q_2 - Q_1; \quad Q_{\text{п}} = Q_0. \quad (23)$$

Имея в виду, что перепады давлений в левой части уравнений (12)–(15) представляют собой величины разрежений в соответствующих укрытиях, перепишем вторую систему уравнений в виде:

$$h_{\text{п}} = R_{\text{п}} Q_{\text{п}}^2 = R_{\text{п}} Q_0^2; \quad (24)$$

$$h_{\text{н}} = R_{\text{н}} Q_{\text{н}}^2; \quad (25)$$

$$h_{\text{в}} = R_{\text{в}} Q_{\text{в}}^2 = R_{\text{в}} (Q_3 + \Delta Q)^2; \quad (26)$$

$$h_{\text{к}} = R_{\text{к}} Q_{\text{к}}^2, \quad (27)$$

где  $h_{\text{п}}$ ,  $h_{\text{в}}$  — разрежения, устанавливающиеся в неаспирируемых укрытиях питателя и «головки» элеватора за счет перетекания воздуха по примыкающим каналам, Па;

$h_{\text{н}}$ ,  $h_{\text{к}}$  — разрежения, поддерживаемые в аспирируемых укрытиях «башмака» элеватора и места загрузки верхнего конвейера в результате работы вентилятора, Па.

С учетом этих соотношений перепишем первую систему уравнений (8)–(11):

$$h_{\text{н}} + P_0(Q_0) = (R_{\text{п}} + R_0) Q_0^2; \quad (28)$$

$$P_1(Q_1) + P_{\text{в}} Q_{\text{в}}^2 - h_{\text{н}} = R_1 Q_1^2; \quad (29)$$

$$P_2(Q_2) - R_{\text{в}} Q_{\text{в}}^2 + h_{\text{н}} = R_2 Q_2^2; \quad (30)$$

$$P_3(Q_3) + h_{\text{к}} - R_{\text{в}} Q_{\text{в}}^2 = R_3 Q_3^2. \quad (31)$$

Предполагая  $h_{\text{н}}$  и  $h_{\text{к}}$  заданными, решая эту систему с учетом уравнения (23), найдем искомые расходы воздуха в каналах  $Q_0$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $Q_3$ .

Для получения расчетной системы уравнений представим в явном виде формулы для определения эжекционных давлений в каналах. В соответствии с формулами (16) и (17) из статьи [1] (с учетом принятых обозначений в статье [2], формула (30)) для кожухов элеватора имеем:

$$P_1(Q_1) = E_1(L_1 - Q_1)^2; \quad (32)$$

$$P_2(Q_2) = E_2(L_2 - Q_2)^2, \quad (33)$$

где для простоты записи принято:

$$L_1 = v_e S_1; \quad L_2 = v_e S_2; \quad E_1 = M_1 \frac{\rho}{2S_1^2}; \quad E_2 = M_2 \frac{\rho}{2S_2^2}.$$

Для загрузочного и разгрузочного желобов в силу формулы (11) статьи [1]:

$$P_0(Q_0) = E_0 [|L_{k0} - Q_0|^3 - |L_{n0} - Q_0|^3]; \quad (34)$$

$$P_3(Q_3) = E_3[|L_{k3} - Q_3|^3 - |L_{n3} - Q_3|^3]; \quad (35)$$

$$L_{ki} = v_{ki} S_i; \quad L_{ni} = v_{ni} S_i; \quad E_i = K_0 \psi_{yi} \beta_{ki} \frac{v_{ki} \rho}{4d_e a_{ti} S_i^3}; \quad \beta_{ki} = \frac{G_m}{\rho_m S_i v_{ki}}.$$

Здесь нижний индекс  $i = 0$  — для параметров потока сыпучего материала в загрузочном желобе;  $i = 3$  — в разгрузочном желобе.

После несложных алгебраических преобразований с учетом соотношений (32)–(35) систему уравнений (28)–(31) можем представить в виде следующей расчетной системы:

$$E_0 [|L_{k0} - Q_0|^3 - |L_{n0} - Q_0|^3] + h_h = (R_n + R_0) Q_0^2; \quad (36)$$

$$E_1 (L_1 - Q_1)^2 + E_2 (L_2 - Q_2)^2 = R_1 Q_1^2 + R_2 Q_2^2; \quad (37)$$

$$E_2 (L_2 - Q_2)^2 + h_h - R_b (Q_3 + Q_2 - Q_1)^2 = R_2 Q_2^2; \quad (38)$$

$$\begin{aligned} E_3 [|L_{k3} - Q_3|^3 - |L_{n3} - Q_3|^3] + E_1 (L_1 - Q_1)^2 + \\ + h_k - h_h = R_1 Q_1^2 + R_3 Q_3^2, \end{aligned} \quad (39)$$

причем первое уравнение этой системы независимо от других, и ее формальное решение имеет вид:

$$Q_0 = \sqrt{\frac{E_0 [|L_{k0} - Q_0|^3 - |L_{n0} - Q_0|^3] + h_h}{R_n + R_0}}.$$

Три последних уравнения зависимы, и в силу их нелинейности совместное решение системы равенств (37)–(39) в общем виде затруднительно.

Из уравнения (37) можем найти  $Q_2 = f_1(Q_1)$ , подставляя в (38), выразим  $Q_3$  через новую функцию

$$Q_3 = f_2(Q_1, Q_2) = f_2(Q_1, f_1(Q_1)) = f_2(Q_1),$$

подставив которую в (39), будем иметь уравнение для определения  $Q_1$ :

$$\begin{aligned} E_3 [|L_{k3} - f_2(Q_1)|^3 - |L_{n3} - f_2(Q_1)|^3] + E_1 (L_1 - Q_1)^2 + \\ + h_k - h_h = R_1 Q_1^2 + R_3 (f_2(Q_1))^2, \end{aligned}$$

которое можем решить численно, например, методом бисекции (методом половинного деления). Однако следует иметь в виду известные трудности выбора однозначной ветви зависимостей  $Q_1$  и  $Q_2$  от разности разрежений  $h_b - h_h$ . В частности, в исходных уравнениях (36)–(39) квадратные величины следует записывать в виде:

$$\begin{aligned} R_1 Q_1^2 &= R_1 Q_1 |Q_1|; \quad R_2 Q_2^2 = R_2 Q_2 |Q_2|; \\ E_1 (L_1 - Q_1)^2 &= E_1 (L_1 - Q_1) |L_1 - Q_1| \text{ и т.д.} \end{aligned}$$

Чтобы избежать потери нужных действительных корней, систему уравнений (37)–(39) будем решать, задаваясь разрежением в кожухе «головки» элеватора  $h$  ( $h \equiv h_b$ ) и сопоставляя эту величину с истинной величиной разрежения  $s = R_b (Q_3 + Q_2 - Q_1) |Q_3 + Q_2 - Q_1|$ .

Для ускорения решения уравнений использовали итерационную процедуру:

$$h_i = 0,5(h_{i-1} + s_{i-1}),$$

где  $s_{i-1}$  — истинная величина разрежения при найденных величинах  $Q_1 = f_1(h_{i-1})$ ,  $Q_2 = f_2(h_{i-1})$  и  $Q_3 = f_3(h_{i-1})$ .

Для определения величин  $Q_1$  и  $Q_2$  использовали соотношения (45) из статьи [2] и (50), (51) из [3] при:

$$g_1 = \frac{R_1}{E_1}; \quad g_2 = \frac{R_2}{E_2}; \quad t_1 = \frac{h_{\text{h}} - h}{E_1 L_1^2}; \quad t_2 = \frac{h_{\text{h}} - h}{E_2 L_2^2}. \quad (40)$$

А искомые расходы вычислили по формулам:

$$Q_1 = \varphi_1 v_e S_1 = \varphi_1 L_1; \quad (41)$$

$$Q_2 = \varphi_2 v_e S_2 = \varphi_2 L_2. \quad (42)$$

Величины  $Q_0$  и  $Q_3$  определяли решением уравнений методом бисекции:

$$f_0 = E_0 [ |L_{k0} - Q_0|^3 - |L_{n0} - Q_0|^3 ] + h_{\text{h}} - R_0 Q_0 |Q_0| = 0; \quad (43)$$

$$f_3 = E_3 [ |L_{k3} - Q_3|^3 - |L_{n3} - Q_3|^3 ] + h_{\text{k}} - h - R_3 Q_3 |Q_3| = 0. \quad (44)$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Логачев, И.Н. Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. Сообщение 1: Закономерности изменения эжекционного напора в желобах [Текст] / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 9. — С. 53–63.
2. Логачев, И.Н. Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. Сообщение 2: Эжектирующие свойства ленточного ковшового элеватора [Текст] / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 10. — С. 38–47.
3. Логачев, И.Н. Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. Сообщение 3: Обсуждение результатов исследований [Текст] / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Изв. вузов. Строительство. — 2014. — № 1. — С. 66–74.
4. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И.Е. Идельчик. — М. : Машиностроение, 1975. — 559 с.

ЛОГАЧЕВ Иван Николаевич, д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
ЛОГАЧЕВ Константин Иванович, д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
АВЕРКОВА Ольга Александровна, канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
ТОЛМАЧЕВА Елена Игоревна, инж.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Получено 16.12.13

**Logachev Ivan Nikolaevich**, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

**Logachev Konstantin Ivanovich**, doctor of technical sciences, professor; Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

**Averkova Olga Alexandrovna**, candidate of technical sciences, assistant professor; Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

**Tolmacheva Elena Igorevna**, engineer; Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

## **DEVELOPMENT OF METHODS FOR REDUCING THE VOLUME OF ASPIRATION DURING OVERLOADS OF GRANULAR MATERIALS BY BUCKET ELEVATORS**

### **Message 1. FEATURES OF THE SETTLEMENT SCHEME ASPIRATION OF ELEVATOR OVERLOADS**

The schemes of aspiration of elevator overloads have been developing. Balance equations of ventilation of aspiration covers are compiled. The system of equations for determination of the volumes of ventilating air for a standard node overload are formulated and solved. Ways of reducing productivity of aspiration systems are offered and analytically substantiated.

**Key words:** aspiration, bulk material transfer, air suction.

### **REFERENCES**

1. Logachev, I.N. The ejection of air during overloads of granular materials in a vertical channels with ladles. *Message 1. Regularities of changes of ejection pressure in the troughs* [Text] / I.N. Logachev, K.I. Logachev, O.A. Averkova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — N 9. — P. 53–63.
2. Logachev, I.N. The ejection of air during overloads of granular materials in a vertical channels with ladles. *Message 2. Ejected characteristics of belt-and-bucket elevator* [Text] / I.N. Logachev, K.I. Logachev, O.A. Averkova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — N 10. — P. 38–47.
3. Logachev, I.N. The ejection of air during overloads of granular materials in a vertical channels with ladles. *Message 3. Discussion of research results* [Text] / I.N. Logachev, K.I. Logachev, O.A. Averkova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2014. — N 1. — P. 66–74.
4. Idelchik, I.E. Hydraulic resistance guide book [Text] / I.E. Idelchik. — M. : Mechanical engineering, 1975. — 559 p.

УДК 697.132

В.И. КОСТИН

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ПЕРЕХОДНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ СИСТЕМ КЛИМАТИЗАЦИИ

Параметры наружного воздуха для переходных условий определяются не только климатическими факторами, но и происходящими внутри помещения процессами. Характерных сочетаний наружного воздуха, при которых изменяются режимы работы климатического оборудования, может быть несколько.

Ключевые слова: переходные условия, наружный воздух, системы климатизации.

В соответствии с п. 5.13 СП 60.13330.2012 (СНиП 41-01-2003. Актуализированная редакция) в качестве параметров наружного воздуха для переходных условий года «следует принимать: температуру 10 °С и удельную энталпию 26,5 кДж/кг или параметры наружного воздуха, при которых изменяются режимы работы оборудования, потребляющего теплоту и холод». Возникает вопрос: когда появляется необходимость расчета переходных условий при параметрах наружного воздуха, отличных от нормативов предыдущего издания СНиП 41-01-2003 (температура наружного воздуха  $t_h = 10$  °С, удельная энталпия 26,5 кДж/кг), и как найти эти параметры?

Заметим, что в соответствии с Приложением «И» СП 60.13330.2012 «Тепловой поток, поступающий в помещение от прямой и рассеянной солнечной радиации, следует учитывать при устройстве кондиционирования для теплого и холодного периода года и для переходных условий».

Как известно, теплопоступления в помещения от солнечной радиации меняются в течение года, причем одна и та же температура  $t_h$  может наблюдаться при разной степени облачности неба. Следовательно, расчетные параметры наружного воздуха для переходных условий нельзя заранее назначить априорно и однозначно. Их следует находить на основе вариантовых расчетов.

Анализ СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» позволил выделить четыре климатические территориальные группы России.

*I группа.* Регионы, где среднемесячная температура наружного воздуха  $t_h^{cp}$  близка к 10 °С в апреле и октябре (Астрахань, Владикавказ, Волгоград, Грозный, Краснодар, Ростов-на-Дону, Ставрополь, Элиста).

*II группа.*  $t_h^{cp}$  меньше 10 °С в апреле и октябре, но больше на несколько градусов 10 °С в мае и сентябре (Калининград, Курск, Липецк, Оренбург, Самара, Саратов).

*III группа.*  $t_h^{cp}$  близка к 10 °С в мае и сентябре, к ней относится большая часть России (Владивосток, Екатеринбург, Иркутск, Красноярск,

Москва, Нижний Новгород, Новосибирск, Омск, Пермь, Хабаровск, Челябинск, Чита и т.д.).

*IV группа.* Переходный период приходится на летние месяцы (Архангельск, Республика Коми, север Красноярского края, Камчатка, Магаданская область, Республика Саха (Якутия), Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округи).

Предлагается первый вариант расчета производить для следующих условий:

среднесуточная температура  $t_h^{\text{ср}}$  принимается равной среднемесячной, амплитуда колебаний наружного воздуха тоже среднемесячная. Состояние неба — ясное. Расчетные месяцы: для I группы — апрель; II — сопоставление расчетов для апреля и мая; III — май; IV — летний месяц, где температура  $t_h^{\text{ср}}$  близка к 10 °С.

Однако параметры наружного воздуха для переходных условий определяются не только климатом конкретного региона, но и процессами, происходящими внутри помещения, а в некоторых случаях — и схемами систем климатизации, принятыми для холодного и теплого периодов. Рассмотрим примеры.

**1. Помещения с внутренними влаговыделениями.** В работе [1] указывалось на необходимость расчетов относительной влажности воздуха в помещениях с влаговыделениями и проверки ограждающих конструкций на конденсацию влаги при  $t_h = 0$  °С для сооружений, эксплуатируемых в условиях сурового климата (север России, Сибирь, Дальний Восток). Это объяснялось тем, что при температурах  $t_h = -30$  °С и ниже абсолютное влагосодержание наружного  $d_h$  составляет порядка 0,2 г / кг, а при температурах, близких к 0 °С,  $d_h$  возрастает в 10 раз и более (табл. 1). Данное предложение не утратило актуальности и сегодня для зданий, сооружаемых по современным теплотехническим стандартам. В табл. 2 приводится сопоставление влажностных режимов помещения

Таблица 1. Влагосодержание наружного воздуха на территории Сибири и Дальнего Востока при  $t_h = 0$  °С

Города	$d_h$ , г / кг
Игарка, Норильск	3,8
Анадырь, Колпашево, Бийск	3,7
Братск, Нижнеилимск, Новосибирск	3,6
Барнаул, Бодайбо, Кемерово, Рубцовск, Сургут	3,5
Енисейск, Комсомольск-на-Амуре, Нижнеудинск, Омск, Охотск, Тайшет, Тобольск, Томск, Тында, Тюмень	3,1
Ангарск, Ачинск, Биробиджан, Владивосток, Иркутск, Хабаровск, Якутск	3
Абакан, Благовещенск, Вилуйск, Канска, Красноярск	2,9
Улан-Удэ	2,8
Нерчинск, Чита	2,7
Кызыл	2,6

Таблица 2. Сопоставление влажностного режима помещения при температурах наружного воздуха  $-39$  и  $0$   $^{\circ}\text{C}$

Группа	$t_{\text{н}} = -39$ $^{\circ}\text{C}$					$t_{\text{н}} = 0$ $^{\circ}\text{C}$				
	$\phi_{\text{в}}$ , %	$d_{\text{в}}$ , %	$\tau_{\text{p}}$ , $^{\circ}\text{C}$	$\tau_0$ , $^{\circ}\text{C}$	$\tau_{\text{p}} - \tau_0$ , $^{\circ}\text{C}$	$\phi_{\text{в}}$ , %	$d_{\text{в}}$ , %	$\tau_{\text{p}}$ , $^{\circ}\text{C}$	$\tau_0$ , $^{\circ}\text{C}$	$\tau_{\text{p}} - \tau_0$ , $^{\circ}\text{C}$
$t_{\text{в}} = 18$ $^{\circ}\text{C}$										
I	50	6,6	8,2	15,1	6,9	78	10,0	14,0	17,2	3,2
II	55	7,2	9,2		5,9	88	10,6	15,0		2,2
III	60	7,8	10,5		4,6	87	11,2	16,0		1,2
IV	65	8,4	11,5		3,6	92	11,8	16,8		0,4
$t_{\text{в}} = 20$ $^{\circ}\text{C}$										
I	50	7,4	9,8	17,1	7,3	74	10,8	15,5	19,2	3,7
II	55	8,0	10,8		6,3	78	11,4	16,3		2,9
III	60	8,7	12,0		5,1	82	12,1	17,2		2,0
IV	65	9,6	13,7		4,4	89	13,0	18,2		1,0

при двух значениях  $t_{\text{н}}$ :  $-39$  и  $0$   $^{\circ}\text{C}$ . Из нее видно, что при наличии системы поддерживания в помещении постоянной температуры  $t_{\text{в}}$  с повышением температуры  $t_{\text{н}}$  увеличивается относительная влажность воздуха в помещении  $\phi_{\text{в}}$  и при  $t_{\text{н}} = 0$  превышает допустимую величину ( $\phi_{\text{в}} = 75$  %). При этом влажностный режим помещения переходит в другую категорию и возрастает накопление влаги в конструкциях. Кроме того, возможна конденсация влаги в зоне теплопроводных включений, в углах и оконных откосах. Таким образом, в данном случае переходные условия характеризуются, как минимум, двумя температурами  $t_{\text{н}}$ :  $10$  и  $0$   $^{\circ}\text{C}$ .

**2. Совмещение отопления с приточной вентиляцией (полное или частичное).** Подача приточного воздуха может быть горизонтальной (сосредоточенная или настилающаяся на потолок струями) либо струями, направленными непосредственно в рабочую зону. Так как температура приточного воздуха  $t_{\text{пр}} > t_{\text{в}}$ , то Архимедовы силы направлены вверх и уменьшают скорость движения струй. При автоматическом поддержании в помещении постоянной температуры  $t_{\text{в}}$  с ростом  $t_{\text{н}}$  снижается температура  $t_{\text{пр}}$ .

И при температурах  $t_{\text{н}}$ , выше некоторой температуры  $t'_{\text{н}} t_{\text{пр}} < t_{\text{в}}$ , Архимедовы силы будут направлены вниз, что увеличит скорость приточной струи в области рабочей зоны при одновременном снижении температуры в некоторой ее части, где в итоге могут создаться дискомфортные условия. Пример такого случая приведен в табл. 3 (температура воздуха в помещении  $t_{\text{в}} = 16$   $^{\circ}\text{C}$ ), где  $t'_{\text{н}} \approx -7$   $^{\circ}\text{C}$ . В данном случае необходимость

Таблица 3

$t_{\text{н}}$ , $^{\circ}\text{C}$	-39	-30	-20	-10	0	+5
$t_{\text{пр}}$ , $^{\circ}\text{C}$	22,3	20,6	18,6	16,6	14,7	13,7

проведения дополнительного проверочного расчета обусловлена не спецификой климата или технологией производства, а принятыми проектными решениями.

В некоторых случаях переходные условия могут возникнуть и в теплый период и даже в холодный. Установить эти факты можно только на основе помесячных расчетов. Такой подход применен, например, в работе [2].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К о с т и н, В.И. Проверка ограждающих конструкций на конденсацию влаги [Текст] / В.И. Костин // Проблемы теплоснабжения и вентиляции в условиях климата Восточной Сибири. — Иркутск: ИПИ, 1977. — С. 79–81.
2. Т а б у н щ и к о в, Ю.А. Оценка годового расхода энергии на отопление и охлаждение зданий [Текст] / Ю.А. Табунщиков, Ю.В. Миллер // АВОК. — 2013. — № 3. — С. 56–63.

*КОСТИН Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

Получено 09.12.13

**Kostin Vladimir Ivanovich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

#### **SELECTION OF PARAMETERS OF EXTERNAL AIR FOR TRANSITIONAL CONDITIONS AT CALCULATION OF CLIMATIC SYSTEMS**

Parameters of external air for transitional conditions are defined not only climatic factors, but also processes occurring indoors. Characteristic combinations of external air at which operating modes of the climatic equipment change, can be a some.

**Key words:** transitional conditions, external air, climatic systems.

#### REFERENCES

1. K o s t i n, V.I. Check of protecting designs on condensation the moisture [Text] / V.I. Kostin // Heat supply and ventilation problems in the conditions of climate of Eastern Siberia. — Irkutsk : IPI, 1977. — P. 79–81.
  2. T a b u n s c h i k o v, Yu.A. Assessment of annual energy consumption on heating and cooling of buildings [Text] / Yu.A. Tabunschikov, Yu.V. Miller // AVOK. — 2013. — N 3. — P. 56–63.
-

УДК 697.97

Р.Ш. МАНСУРОВ

## ИНТЕГРАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА

Предложена принципиальная схема многофункционального устройства, объединяющего различного типа энергосберегающее оборудование. Благодаря этому получена технически более сложная система обеспечения микроклимата, чем традиционные системы климатизации зданий, но более экономичная и эффективно функционирующая.

**Ключевые слова:** система обеспечения микроклимата, энергосберегающее оборудование, технология обработки воздуха, энерго- и ресурсосберегающие режимы работы.

Принципиальная схема многофункционального устройства (МФУ), включающая энергосберегающее оборудование с возможностью его использования в различных комбинациях без реконструкции системы обеспечения микроклимата, изображена на рис. 1. Конструктивные особенности МФУ также позволяют изменять направления движения воздуха по вентиляционным каналам МФУ за счет управления углом поворота ламелей воздушных заслонок, тем самым меняя технологию обработки воздуха [1].

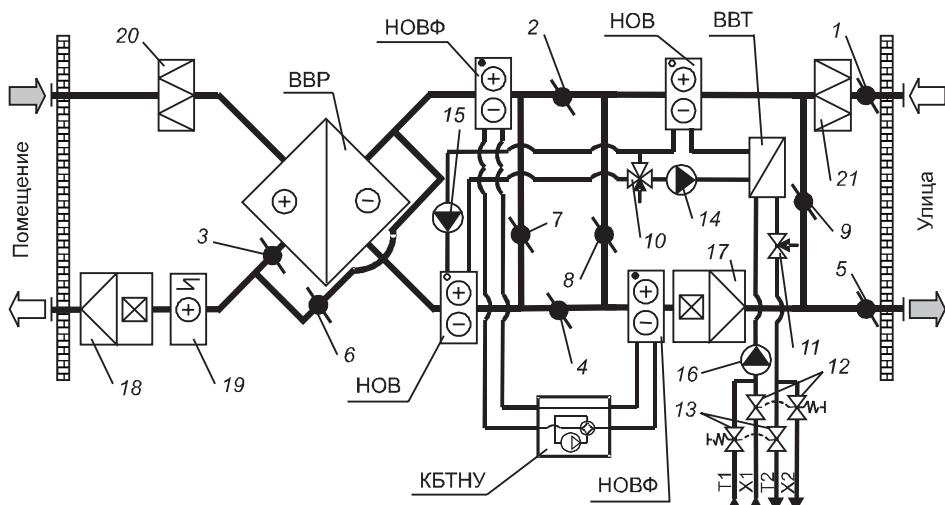


Рис. 1. Принципиальная схема МФУ

БВР — воздуховоздушный рекуператор; НОВ — нагреватель-охладитель воздуха; НОВФ — нагреватель-охладитель воздуха фреоновый; ВВТ — водоводяной теплообменник; КБТНУ — компрессорный блок теплонасосной установки; 1–9 — воздушные заслонки; 10 — трехходовой клапан на линии трубопроводов РПТ; 11 — двухходовой клапан на линии трубопроводов тепло(холода)снабжения РПТ; 12, 13 — сдвоенные электромагнитные клапаны (нормально закрыты); 14 — циркуляционный насос РПТ; 15 — бустерный насос; 16 — циркуляционный насос системы тепло(холода)снабжения РПТ; 17 — вытяжной вентилятор; 18 — приточный вентилятор; 19 — электрический воздухонагреватель; 20, 21 — карманные фильтры

Исключительностью предложенного МФУ является то, что при комбинации энергосберегающего оборудования появляются новые возможности, которые в традиционных системах вентиляции и кондиционирования воздуха практически недостижимы. Так, стало возможным одновременное использование рекуператоров ВВР и РПТ, что позволяет исключить обледенение теплообменников и повысить энергоэффективность системы обеспечения микроклимата.

Далее приведены базовые варианты схемных решений использования энергосберегающего оборудования МФУ и их основные режимы работы.

*Воздуховоздушный рекуператор (ВВР) с байпасом* (показан пунктирной линией) (рис. 2) обвязан воздуховодами с воздушными заслонками 3 и 6. На линии удаляемого воздуха установлено дифференциальное манометрическое реле.

ВВР имеет три основных режима работы:

- рабочий режим. Приточный и удаляемый воздух проходят в полном объеме через рекуператор, заслонка 3 полностью открыта, а заслонка 6 полностью закрыта;

- рабочий режим с частичным или полным обмерзанием каналов рекуператора на линии удаляемого воздуха из помещения. При обмерзании каналов рекуператора перепад давления ВВР на линии удаляемого воздуха увеличивается. При достижении уставки дифференциального манометрического реле автоматизированная система управления (АСУ) даст команду на частичное или полное открытие заслонки 6 и на частичное или полное закрытие заслонки 3 в зависимости от интенсивности обмерзания каналов рекуператора;

- нерабочий режим. Приточный воздух проходит через рекуператор, а вытяжной по байпасу, заслонка 3 полностью закрыта, а заслонка 6 на байпасе рекуператора полностью открыта.

*Рекуператор с промежуточным теплоносителем (РПТ)* (рис. 3) состоит из двух теплообменников нагревателей-охладителей воздуха (НОВ), установленных на приточной линии и на линии удаляемого воздуха, и водоводяного теплообменника (ВВТ). Все теплообменники обвязаны системой трубопроводов с запорно-регулирующей арматурой и насосами.

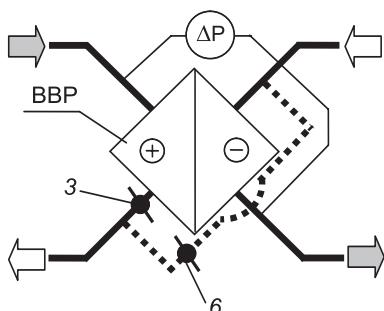


Рис. 2. Схема обвязки ВВР

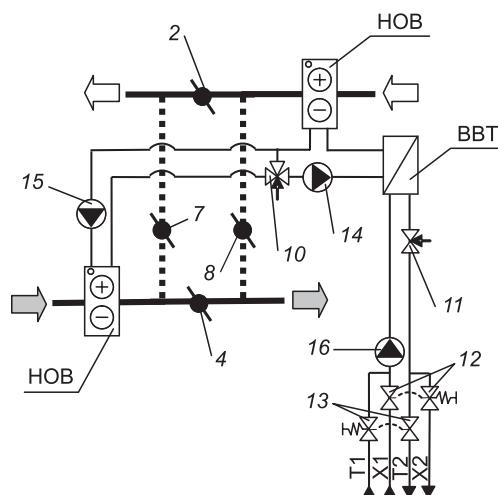


Рис. 3. Схема обвязки РПТ

РПТ имеет четыре основных режима работы:

— рабочий режим «чистой» рекуперации. Воздушные заслонки 2 и 4 полностью открыты, а заслонки 7 и 8 полностью закрыты. Система тепло(холодо)снабжения РПТ отключена: сдвоенные электромагнитные клапаны (нормально закрытые) 12 и 13 отключены, двухходовой регулирующий клапан 11 закрыт, циркуляционный насос 16 отключен. Система с промежуточным теплоносителем (антифризом) находится в работе: трехходовой клапан 10 открыт на прямой проход, циркуляционный насос 14 и бустерный насос 15 включены;

— рабочий режим рекуперации с дополнительным нагревом (или охлаждением) приточного воздуха. Воздушные заслонки 2 и 4 полностью открыты, а заслонки 7 и 8 полностью закрыты. Система тепло(холодо)снабжения РПТ включена: сдвоенные электромагнитные клапаны 12 и 13 в противофазе в зависимости от потребности в теплоте или холода. Двухходовой регулирующий клапан 11 частично или полностью открыт, циркуляционный насос 16 включен. Система с промежуточным теплоносителем (антифризом) в работе: трехходовой клапан 10 открыт на прямой проход, насосы 14 и 15 включены;

— режим чистого нагрева (или охлаждения) приточного воздуха без рекуперации. Воздушные заслонки 2 и 4 полностью открыты, а заслонки 7 и 8 полностью закрыты. Система тепло(холодо)снабжения РПТ включена: сдвоенные клапаны 12 и 13 в противофазной работе в зависимости от потребности в теплоте или холоде. Двухходовой регулирующий клапан 11 частично или полностью открыт, циркуляционный насос 16 включен. Система с промежуточным теплоносителем (антифризом) в работе: трехходовой клапан 10 открыт на поворот через ВВТ и НОВ (на линии приточного воздуха), циркуляционный насос 14 включен, а бустерный насос 15 выключен. В этом режиме РПТ работает в качестве калорифера подогрева или охлаждения;

— нерабочий режим. Циркуляционные насосы 14, 15, 16 и сдвоенные электромагнитные клапаны 12, 13 отключены, клапан 11 закрыт.

*Теплонасосная установка (ТНУ)* (рис. 4) состоит из двух теплообменников нагревателей-охладителей воздуха фреоновых (НОВФ), установленных на приточной линии и на линии удаляемого воздуха, и компрессорного блока теплонасосной установки (КБТНУ).

ТНУ имеет три основных режима работы:

— режим охлаждения приточного воздуха. НОВФ, расположенный на приточной линии, работает испарителем, а НОВФ на линии удаляемого воздуха — конденсатором;

— режим нагрева приточного воздуха. НОВФ на приточной линии работает конденсатором, а НОВФ на линии удаляемого воздуха — испарителем;

— нерабочий режим. Компрессорный блок ТНУ отключен.

Все описанные режимы работы РПТ и ТНУ соответствуют прямоточной технологии обработки воздуха (ПТОВ) помещения. Ниже рассмотрены варианты применения РПТ и ТНУ при переходе МФУ на воздушно-нагревательно-охладительную технологию обработки воздуха (ВНОТОВ)

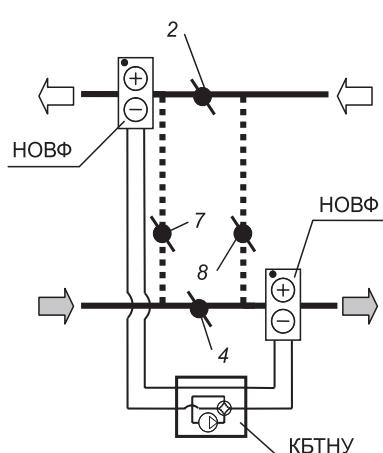


Рис. 4. Схема обвязки ТНУ

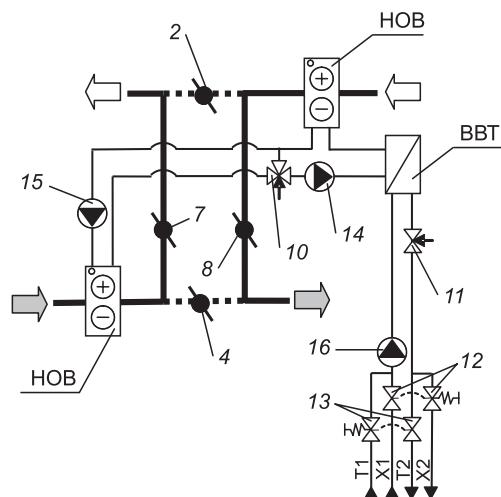


Рис. 5. Схема ВНОТОВ с РПТ

помещения. В этом случае АСУ закроет воздушные заслонки 2 и 4, а заслонки 7 и 8 откроет. Удаляемый из помещения воздух будет нагреваться или охлаждаться и при этом полностью возвращаться в помещение, а воздух, забираемый снаружи, будет выбрасываться на улицу после осуществления теплообмена с приточным воздухом. Использование ВНОТОВ с незначительным открытием заслонок 2 и 4 позволяет частично вентилировать обслуживаемое помещение, что применимо для помещений с кратковременным пребыванием людей или при значительном объеме помещения и, следовательно, с высокой ассимилирующей способностью воздуха, например по  $\text{CO}_2$ .

Схема работы ВНОТОВ с использованием РПТ изображена на рис. 5.

РПТ может работать в трех основных режимах:

- рабочий режим «чистой» рекуперации. Он отличается от описанного ранее режима тем, что воздушные заслонки 2 и 4 закрыты, а заслонки 7 и 8 открыты;

- рабочий режим с частичным вентилированием обслуживаемого помещения аналогичен режиму чистой рекуперации. Отличие состоит в том, что воздушные заслонки 2 и 4 незначительно приоткрыты, а заслонки 7 и 8 открыты или незначительно закрыты;

- нерабочий режим.

Схема работы ВНОТОВ с помощью ТНУ приведена на рис. 6. При использовании этой технологии обработки воздуха у ТНУ имеется три основных режима работы:

- режим воздушного охлаждения помещения. НОВФ на приточной линии работает как испаритель, а НОВФ на линии удалаемого воздуха — как конденсатор;

- режим воздушного отопления помещения. НОВФ на приточной линии работает как конденсатор, а НОВФ на линии удалаемого воздуха — как испаритель;

- нерабочий режим. КБТНУ отключен.

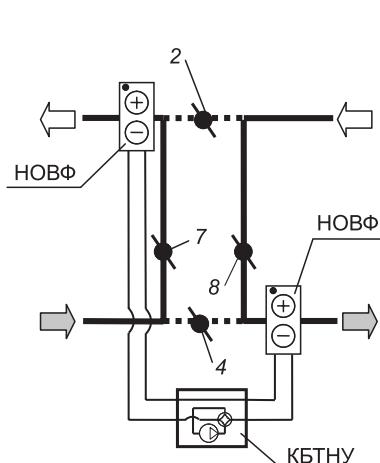


Рис. 6. Схема ВНОТОВ с ТНУ

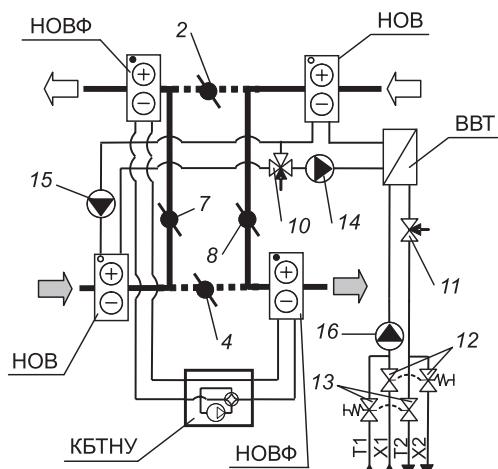


Рис. 7. Схема ВНОТОВ при совместной работе РПТ с ТНУ

Функциональная схема МФУ предусматривает возможность использования ВНОТОВ при совместной работе РПТ с ТНУ (рис. 7), если есть необходимость отопления или охлаждения помещения при необходимом потенциале температуры наружного воздуха. Потенциал температуры характеризуется отношением разницы температур между требуемой температурой внутреннего воздуха и текущей температурой наружного воздуха к разнице температур между текущей температурой внутреннего воздуха и требуемой температурой наружного воздуха. Требуемая температура наружного воздуха определяется по избыткам (недостаткам) теплоты в помещении в текущий момент времени. Если потенциал температуры имеет положительное значение, то имеет смысл использовать РПТ, в противном случае — только ТНУ. Если потенциал температуры положителен и больше единицы, то избытки (недостатки) теплоты в помещении будут полностью (или практически полностью) компенсированы только за счет работы РПТ, если меньше единицы — то необходимо совместно с РПТ использовать ТНУ.

При совместной работе РПТ и ТНУ возможны два основных режима работы:

- режим охлаждения помещения при значительных избытках теплоты в помещении и при температуре наружного воздуха, ниже требуемой температуры в помещении. Использование РПТ позволяет максимально приблизить температуру приточного воздуха к температуре наружного, а включение ТНУ в режиме охлаждения дает возможность понизить температуру притока до температуры, необходимой для полной или частичной ассимиляции избытков теплоты в помещении;

- режим отопления помещения при значительных недостатках теплоты в помещении и при температуре наружного воздуха выше, чем требуемая температура в помещении. Использование РПТ позволит максимально приблизить температуру приточного воздуха к температуре наружного, а включение ТНУ в режиме нагрева дает возможность повысить температуру притока до температуры, необходимой для полной или частичной ассимиляции недостатков теплоты в помещении.

В заключение следует отметить, что, увеличивая сложность системы обеспечения микроклимата, мы увеличиваем ее эффективность (многофункциональность) за счет получения таких новых возможностей системы обеспечения микроклимата, которыми не обладают составляющие ее элементы в отдельности (эффект эмерджентности). Следовательно, мы получаем технически более сложную систему обеспечения микроклимата, чем традиционные системы климатизации зданий, но в то же время более экономичную, гибкую и эффективно функционирующую [2].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мансуров, Р.Ш. Многофункциональное устройство обработки воздуха для систем обеспечения микроклимата [Текст] / Р.Ш. Мансуров // Изв. вузов. Строительство. — 2014. — № 1. — С. 75–80.
2. Мансуров, Р.Ш. Интеллектуализация управления системами формирования микроклимата помещений [Текст] / Р.Ш. Мансуров, Ю.Я. Кувшинов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. — 2012. — № 2. — С. 85–93.

*МАНСУРОВ Рустам Шамильевич, канд. техн. наук, доц.  
Оренбургский государственный университет*

Получено после доработки 11.12.13

**Mansurov Rustam Shamiljevich**, candidate of technical sciences, assistant professor,  
Orenburg State University, Russia

#### **INTEGRATION OF ENERGY SAVING DEVICE TO MULTIFUNCTIONAL SETUP OF AIR PROCESSING**

The principle circuit of multifunctional device containing different types of power saving equipment is proposed. Due to that microclimate system is carried out more technically complicated than traditional system of air conditioning. This system, however, is more economical and effective.

**Key words:** microclimate system, power saving device, air processing technology, power and resource saving mode.

#### REFERENCES

1. Mansurov, R.Sh. Multifunctional device of air processing for microclimate system [Text] / R.Sh. Mansurov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2014. — N 1. — P. 75–80.
  2. Mansurov, R.Sh. The Intellectual system development of room microclimate formation [Text] / R.Sh. Mansurov, Yu.Ya. Kuvshinov // News of the Kabardin-Balkar Scientific center of the Russian Academy of Sciences. — 2012. — N 2. — P. 85–93.
-