

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Выходит 2 раза в год

Учредитель и издатель

Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства

Главная редакция:

А.М. Данилов (главный редактор)
Е.В. Королев (заместитель
главного редактора)
И.А. Гарькина (ответственный
секретарь)

Адрес редакции:

440028, г.Пенза, ул.Титова, 28, ПГУАС
Тел/факс 8412 929501
E-mail: regas@pguas.ru
fmatem@pguas.ru
www.rais.pguas.ru

Редакторы: С.В. Сватковская,
В.С. Кулакова,
М.А. Сухова

Дизайн обложки Е.Г. Лапшина

Компьютерная верстка:

Н.А. Сазонова, Н.В. Кучина

Перевод О.В. Гринцова

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору за
соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия

Свидетельство о регистрации
ПИ №ФС77-25956 от 13 октября 2006 г.

Подписной индекс:

36946 в каталоге Роспечати

Авторы опубликованных материалов
несут ответственность за достоверность
приведенных сведений, точность данных
по цитируемой литературе и за исполь-
зование в статьях данных, не подлежа-
щих открытой публикации.
Редакция может опубликовать статьи
в порядке обсуждения, не разделяя точку
зрения автора.

Подписано к печати 5.07.2011.

Формат 60x84 1/8.

Уч.-изд.л. 23,75. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 83.

Отпечатано в полиграфическом центре ПГУАС

РЕГИОНАЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО 2(11)/2011

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ 4

**Никифоров Е.А., Логанина В.И., Давыдова О.А.,
Симонов Е.Е.**

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ
ИЗВЕСТКОВЫХ КОМПОЗИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
МОДИФИЦИРОВАННОГО ДИАТОМИТА 4

**Альбакасов А.И., Гарькина И.А., Данилов А.М.,
Королев Е.В.**

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ
НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ 9

**Альбакасов А.И., Гарькина И.А., Данилов А.М.,
Королев Е.В.**

ДИСПЕРСНЫЕ ФАЗЫ
ДЛЯ СЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ СПЕЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ..... 18

Шапоров В.П., Камбург В.Г., Питак И.В.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ
МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ГИДРОСУСПЕНЗИЙ
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ..... 24

Королев Е.В., Тарасов Р.В., Сомкин А.С.

ВЫБОР ШЛАКА ДЛЯ РАДИАЦИОННО-
ЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИТОВ НА
ШЛАКОЩЕЛОЧНОМ ВЯЖУЩЕМ 30

Макридин Н.И., Максимова И.Н., Овсяюкова Ю.В.

ИЗМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ
ПРОЧНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ
СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ
ВО ВРЕМЕНИ..... 36

**Мороз М.Н., Егоров С.И., Володин В.М.,
Троянов И.Ю.**

ЭФФЕКТИВНЫЙ ГИДРОФОБИЗАТОР «ПРИМ-1».
ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ
МАТЕРИАЛОВ 42

Демьянова В.С., Чумакова О.А.

СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ДОБЫЧИ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (НА ПРИМЕРЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ) .. 48

Шапоров В.П., Камбург В.Г., Питак И.В.

ПРОЦЕСС ГИДРАТАЦИИ ОКСИДА МАГНИЯ
ВОДОЙ И СТРУКТУРА МАГНЕЗИАЛЬНОЙ
СУСПЕНЗИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ..... 52

© Авторы публикаций, 2011

© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2011

© ПГУАС, 2011

Коровкин М.О., Калашников В.И. РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА В БЕТОНЕ .. 59	Прохоров С.Г., Свиных Б.И., Аржаева Н.В., Кожунов А.А. ПЕРЕВОД ПАРОВЫХ КОТЛОВ НА ВОДОГРЕЙНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ .. 124
Ерошкина Н.А., Калашников В.И., Коровкин М.О. ВЯЖУЩЕЕ, ПОЛУЧЕННОЕ ИЗ МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД С ДОБАВКОЙ ШЛАКА, И БЕТОН НА ЕГО ОСНОВЕ 62	Ерёмкин А.И., Фильчакина И.Н. ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ ДЛЯ РАВНОМЕРНОЙ РАЗДАЧИ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ОППОЗИТНЫЕ ЩЕЛИ В СИСТЕМАХ ВЫТЕСНЯЮЩЕЙ ВЕНТИЛЯЦИИ 128
Логанина В.И., Макарова Л.В., Папшева К.А. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА СИЛИКАТНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ИЗВЕСТКОВЫХ ОТДЕЛОЧНЫХ СОСТАВОВ 66	Королева Т.И., Кузьмишкин А.А., Васин М.Е., Иващенко Н.Ю. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ – ПУТЬ К ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ 135
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ 70	Титов Г.И., Новопашина Н.А. ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ 141
Селяев В.П., Колдин А.О., Сорокин Е.В., Селяев П.В., Уткин И.Ю. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ БЕЗ ТРЕЩИН 70	Хурин И.А., Тюрин Н.П. ОЧИСТКА ПЕЧНЫХ ГАЗОВ ПРИ ПЛАВКЕ АЛЮМИНИЕВОГО ЛОМА 149
Мондрус В.Л., Шутовский С.Н. К ВОПРОСУ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ 76	Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Демидочкин В.В., Шистеров А.С., Кусакина С.А., Малютин Т.В. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПТИЦЕФАБРИКИ 155
Шенин А.И., Земцова О.Г. СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ «УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ – ВЫСОТНОЕ СООРУЖЕНИЕ» С ПОМОЩЬЮ НЕЛИНЕЙНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ГАСИТЕЛЯ 83	Слесарев Д.Ю., Кубис В.А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЖИГАНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В ГОРЕЛКАХ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ «СВЕТЛОГО» ТИПА 161
Селяев П.В., Сорокин Е.В. АНАЛИЗ РАБОТЫ ПЛАСТИНОК, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С АГРЕССИВНОЙ СРЕДОЙ 91	Жильников В.Б., Тюрин Н.П. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИХРЕВОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ 167
Бакушев С.В., Зернов В.В., Подшивалов С.Ф. ОПЫТ ОБСЛЕДОВАНИЯ КИРПИЧНЫХ СТЕН 96	Баканова С.В. ФИЛЬТРАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ МОНОДИСПЕРСНЫЙ СЛОЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ИСТЕЧЕНИЯ ПОТОКА 175
Гусев Н.И., Кубасов Е.А., Кочеткова М.В. СРЕДСТВА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ НАЛЕДИ С КРЫШ 104	АРХИТЕКТУРА 181
Нежданов К.К., Артюшин Д.В. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЛАВИНООБРАЗНОГО ОБРУШЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЗДАНИЙ ИЗ РЕБРИСТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ 109	Лапшина Е.Г. ДИСЦИПЛИНА «ПРОСТРАНСТВО» В СТОЛИЧНОЙ И РЕГИОНАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ШКОЛЕ РОССИИ 181
Недоговоров А.Д. РАСЧЕТ СТЫКА КЛЕЕВОГО БЕТОННОГО СОПРЯЖЕНИЯ ПРИ СДВИГЕ С УЧЁТОМ УСАДОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ 114	<i>К юбилею великого ученого, гуманиста и мыслителя, уроженца земли Пензенской В.О.Ключевского (1841-1911)</i>
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ 119	Солманидина Н.В., Гринцова О.В. НОВЫЙ АСПЕКТ В ПРОЧТЕНИИ ТВОРЧЕСТВА В.О. КЛЮЧЕВСКОГО 186
Ерёмкин А.И., Вялкова Н.С. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВОДЯНОГО И ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ 119	

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS . 4	
Nikiforov E.A., Loganina V.I., Davydova O.A., Simonov E.E.	
PECULIARITIES OF LIME COMPOSITES STRUCTURE FORMATION WITH THE USE OF MODIFIED DIATOMITE.....	4
Albakasov A.I., Garkina I.A., Danilov A.M., Korolev E.V.	
MANAGEMENT OF NANOMODIFIED BUILDING MATERIALS STRUCTURE AND PROPERTIES	10
Albakasov A.I., Garkina I.A., Danilov A.M., Korolev E.V.	
DISPERSE FILLERS FOR SULFUR COMPOSITES OF SPECIAL-PURPOSE	18
Shaporev V.P., Kamburg V.G., Pitak I.V.	
THEORETICAL ANALYSIS FOR ORGANIZING THE PROCESS OF OBTAINING MAGNESIA GIDROSUSPENZY FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY.....	24
Korolev E.V., Tarasov R.V., Somkin A.S.	
A CHOICE OF SLAG FOR RADIATION- PROTECTIVE COMPOSITES ON SLAG ALKALINE BINDER	30
Makridin N.I., Maksimova I.N., Ovsucova Yu.V.	
CHANCE IN TIME OF CEMENT CTONE MODIFID STRUCTURE CONSTRUCTION DURADILITY	36
Moroz M.N., Egorev S.I., Volodin V.M., Troyanov I.Y.	
EFFECTIVE WATERPROOF ADDITIVE «PRIM- 1». BASIC PHYSICOTECHNICAL PROPERTIES OF MODIFIED COMPOSITES.....	42
Demyanova V.S., Chumakova O.A.	
REDUCTION OF MINING NEGATIVE IMPACT ON THE ENVIRONMENT (ON THE EXAMPLE OF PENZA REGION FIELD).....	48
Shaporev V.P., Kamburg V.G., Pitak I.V.	
THE PROCESS OF MAGNESIUM OXIDE HYDRATION WITH WATER AND MAGNESIA SUSPENSION STRUCTURE FOR USE IN CONSTRUCTION INDUSTRY	52
Korovkin M.O., Kalashnikov V.I.	
DURABILITY EFFECT OF A SUPERPLASTICIZER IN CONCRETE.....	59
Eroshkina N.A., Kalashnikov V.I., Korovkin M.O.	
A BINDER FROM MAGMATIC ROCKS WITH ADDITION OF SLAG AND CONCRETE ON ITS BASIS.....	62
Loganina V.I., Makarova L.V., Papsheva K.A.	
INFLUENCE OF SILICATE FILLERS SYNTHESIS TECHNOLOGY ON LIMY FINISHING STRUCTURES PROPERTIES	66
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS.....	70
Seljaev V.P., Koldin A.O., Sorokin E.V., Seljaev P.V., Utkin I.J.	
ESTIMATION THE RELIABILITY OF FERRO- CONCRETE BENT ELEMENTS WORKING WITHOUT CRACKS.....	70
Mondrus V.L., Shutovskiy S.N.	
ON THE ISSUE OF WAVES PROPAGATION IN BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS WITH PERIODIC STRUCTURE.....	76
Shein A.I., Zemtsova O.G.	
DECREASE IN LEVEL OF VIBRATIONF SYSTEM «THE ELASTIC FOUNDATION – A HIGH-RISE CONSTRUCTION» BY MEANS OF A NONLINEAR DYNAMIC DAMPER	83
Selyaev P.V., Sorokin E.V.	
WORK ANALYSIS OF PLATES INTERACTING WITH EXCITED ENVIRONMENT	91
Bakushev S.V., Zernov V.V., Podshivalov S.F.	
EXPERIENCE OF BRICK WALLS SURVEY	96
Gusev N.I., Kubasov E.A., Kochetkova M.V.	
EQUIPMENT FOR AUFEIS REMOVAL FROM ROOFS.....	104
Nezhdanov K.K., Artyushin D.V.	
HOW TO PREVENT AVALANCHE-LIKE COLLAPSE OF BUILDING COVERINGS MADE OF RIBBED REINFORCED CONCRETE PANELS	109
Nedogovorov A.D.	
CALCULATION OF GLUED CONCRETE CONNECTION AT SHEAR STRESSES TAKING INTO ACCOUNT SHRINKAGE STRESS	114
ENGINEERING SYSTEMS.....	119
Eremkin A.I., Vjalkova N.S.	
THE AUTOMATED COMBINED SYSTEM OF WATER AND AIR HEATING OF THE PUBLIC BUILDING	119
Prohorov S.G., Svinuhov B.I., Arzhaeva N.V., Kozhunov A.A.	
STEAM BOILERS TRANSFER ON THE WATER- HEATING OPERATING MODE	124
Eremkin A.I., Filchakina I.N.	
AIR DISTRIBUTION FOR EVEN INCOMING AIR DISPENSING THROUGH OPPOSITE CHINKS IN SYSTEMS OF FORCED VENTILATION.....	128
Koroleva T.I., Kuzimishkin A.A., Vasin M.E., Ivashenko N.Y.	
RENEWABLE ENERGY SOURCES – A WAY TO POWER SAVINGS.....	135
Titov G.I., Novopashina N.A.	
INVESTIGATION OF HEAT NETWORKS RELIABILITY	141
I.A. Hurin, N.P. Tyurin	
CLEARING OF OVEN GASES AT ALUMINIUM BREAKAGE MELTING	149
Andreev S.Y., Grishin B.M., Demidochkin V.V., Shisterov A.S., Kusakina S.A., Malyutina T.V.	
EXPERIENCE OF APPLICATION THE TECHNOLOGY OF PRELIMINARY COAGULATION TREATMENT OF POULTRY PLANT WASTE WATER	155
Slesarev D.U. Kubis V.A.	
IMPROVEMENT OF GAS FUEL BURNING IN INFRA-RED RADIATION TORCHES OF «LIGHT» TYPE.....	161
Zhilnikov V.B., Tyurin N.P.	
INCREASE OF A VORTICAL DUST CATCHER EFFICIENCY.....	167
Bakanova S.V.	
VENTILATION AIR FILTRATION BY MONODISPERCED LAYER IN DIFFERENT CONDITIONS OF STREAM INFLOW	175
ARCHITECTURE	181
Lapshina E.G.	
DISCIPLINE «SPACE» IN CAPITAL AND REGIONAL RUSSIAN SCHOOL OF ARCHITECTURE AND ART	181
Solmanidina N.V., Grintsova O.V.	
NEW ASPECT OF V.O.KLUCHEVSKY WORKS.....	186

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК [666.951:622.362.5]:691.51

ООО «Diatomit^R»

Россия, 432700, Ульяновск, ул. Кузнецова, 4б,
тел.: 8 (8422) 42-08-34

Никифоров Евгений Александрович,
кандидат экономических наук,
председатель совета директоров
E-mail: postman@diatomit.ru

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Логанина Валентина Ивановна,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Стандартизация,
сертификация и аудит качества»
Тел.: (8412)92-94-78
E-mail: loganin@mail.ru

Давыдова Ольга Александровна,
старший преподаватель кафедры
«Стандартизация, сертификация и аудит
качества»
Тел.: (8412)92-94-78
E-mail: _oda@mail.ru

Симонов Евгений Евгеньевич,
аспирант кафедры «Стандартизация,
сертификация и аудит качества»
Тел.: (8412)92-94-78
E-mail: simonov888@list.ru

Company limited liability « Diatomit^R»

Russia, 432700, Ulyanovsk, 4b, Kuznetsova St.
tel.: 8 (8422) 42-08-34

Nikiforov Evgeny Aleksandrovich,
Candidate of Science in Economic,
Chairman of the Board of Directors
E-mail: postman@diatomit.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Loganina Valentina Ivanovna,
Doctor of Sciences. Professor. Head of the
department «Standardization, Certification
and Quality Auditing»
Tel.: (8412)92-94-78
E-mail: loganin@mail.ru

Davydova Olga Aleksandrovna,
The senior Lecturer of the department
«Standardization, Certification and Quality
Auditing»
Tel.: (8412)92-94-78
E-mail: _oda@mail.ru.

Simonov Evgeniy Evgenevich,
Postgraduate of the department «Standardization,
Certification and Quality Auditing»
Tel.: (8412)92-94-78
E-mail: simonov888@list.ru

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ИЗВЕСТКОВЫХ КОМПОЗИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ДИАТОМИТА*

Е.А. Никифоров, В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов

Изложены результаты исследования структуры известково-диатомового композита. Установлено, что составы с применением диатомита, обработанного золью кремниевой кислоты, характеризуются пониженным содержанием портландита и повышенным содержанием гидросиликатов кальция. Выявлено, что применение в сухих строительных смесях диатомита, обработанного кремнезолью, приводит к увеличению прочности при сжатии в 1,95...2,15 раза.

Ключевые слова: структура, диатомит, модификация, золь кремниевой кислоты, прочность при сжатии.

* Работа выполнялась в рамках госконтракта № 13.G25.31.0092 с Министерством образования и науки РФ.

PECULIARITIES OF LIME COMPOSITES STRUCTURE FORMATION WITH THE USE OF MODIFIED DIATOMITE

E.A. Nikiforov, V.I. Loganina, O.A. Davydova, E.E. Simonov

The results of lime diatomite composite structure research are given. It's proved that composites with diatomite treated by silica sol are characterized by lower portlandite content and higher calcium hydroxide content. It's shown that the use of diatomite treated by silica sol leads to increased durability at compression by 1,95...2,15 times.

Keywords: structure, diatomite, modification, sol' of silicic acid, durability at compression.

Высокая стоимость энергоресурсов, рост цен на сырье, транспортные расходы неизбежно сказываются на повышении стоимости отделочных материалов отечественных производителей. Применение местной сырьевой базы позволяет значительно снизить себестоимость отделочных материалов. Нами разработана рецептура сухой строительной смеси (ССС) с использованием местных сырьевых ресурсов, основными компонентами которой являются диатомит и гашеная известь. На территории Поволжья имеются значительные запасы диатомита. В исследованиях применялся диатомит Инзенского месторождения. Диатомит представляет собой пористую кремнистую породу, содержащую до 82 % кремнезема, при этом около 33...36 % SiO_2 находится в аморфном виде. В качестве вяжущего использовалась гашеная известь 2 сорта с активностью 84 %.

Способность диатомита связывать гидроксид кальция в присутствии воды при обычных температурах обусловлена содержанием в диатомитах веществ в химически активной форме. В качестве добавки, увеличивающей содержание аморфного кремнезема в диатомите, применяли золь кремниевой кислоты [1], который получали способом, основанным на ионообменной хроматографии. Технология введения золя предусматривала смешение молотого диатомита с удельной поверхностью $S_{уд} = 10982,58 \text{ см}^2/\text{г}$ с золом кремниевой кислоты в соотношении 1:1,1...1,8. Полученная суспензия выдерживалась в течение 1 часа, после чего высушивалась до постоянной массы и измельчалась до той же величины удельной поверхности. Установлено, что содержание SiO_2 в модифицированном диатомите увеличилось до 89,29 %.

Эффективность активации оценивали по прочности известково-диатомовых композитов. Предварительными исследованиями установлено оптимальное соотношение известь:диатомит, составляющее 1:4. Образцы формовались с водоизвестковым отношением В/И, равным 2,8; 6,0, и твердели в воздушно-сухих условиях при температуре окружающего воздуха 18...20 °С и относительной влажности 60...70 %.

Для оценки структуры известкового композита применяли методы РФА и дифференциально-термического анализа (ДТА). Установлено, что базовый состав известково-диатомовых образцов представлен интенсивными линиями 10,059 Å, 3,353 Å, 3,042 Å, 2,456 Å, относящимися к кварцу, и менее интенсивными линиями 1,797 Å, 1,685 Å, 1,542 Å, относящимися к гидросиликатам кальция. Кроме того, идентифицируются портландит (4,902 Å, 3,11 Å, 2,634 Å) и кальцит (2,283 Å, 1,875 Å) (рис. 1,а).

На рентгенограмме известково-диатомовых образцов с применением диатомита, активированного золом кремниевой кислоты, идентифицируются линии, относящиеся к гидросиликатам (4,256 Å, 3,037 Å, 1,481 Å), однако по сравнению с контрольным составом (без активации диатомита) интенсивность пиков увеличена. Кроме того, снижена интенсивность пиков, относящихся к портландиту (2,634 Å, 1,796 Å, 1,685 Å) (рис. 1,б).

Тепловые эффекты превращений, происходящих в известковых композитах в процессе термообработки, представлены на рис. 2. В составах известкового композита с применением диатомита, обработанного золом кремниевой кислоты, эндотермический эффект (рис. 2,а), сопровождающийся потерей массы до 3,13 %, достигается при нагреве до температур 114,6 °С и обуславливается удалением свободной воды. Значительное увеличение эндотермического эффекта в области до 114,6 °С, характеризующегося удалением адсорбционной влаги и потерей воды гелевидной составляющей, свиде-

тельствует о возрастании фаз, находящихся в коллоидном состоянии [2]. В составах на основе неактивированного диатомита наблюдается смещение температуры до 125 °С, при этом количество свободной воды составляет 1,89 % (рис.2,б).

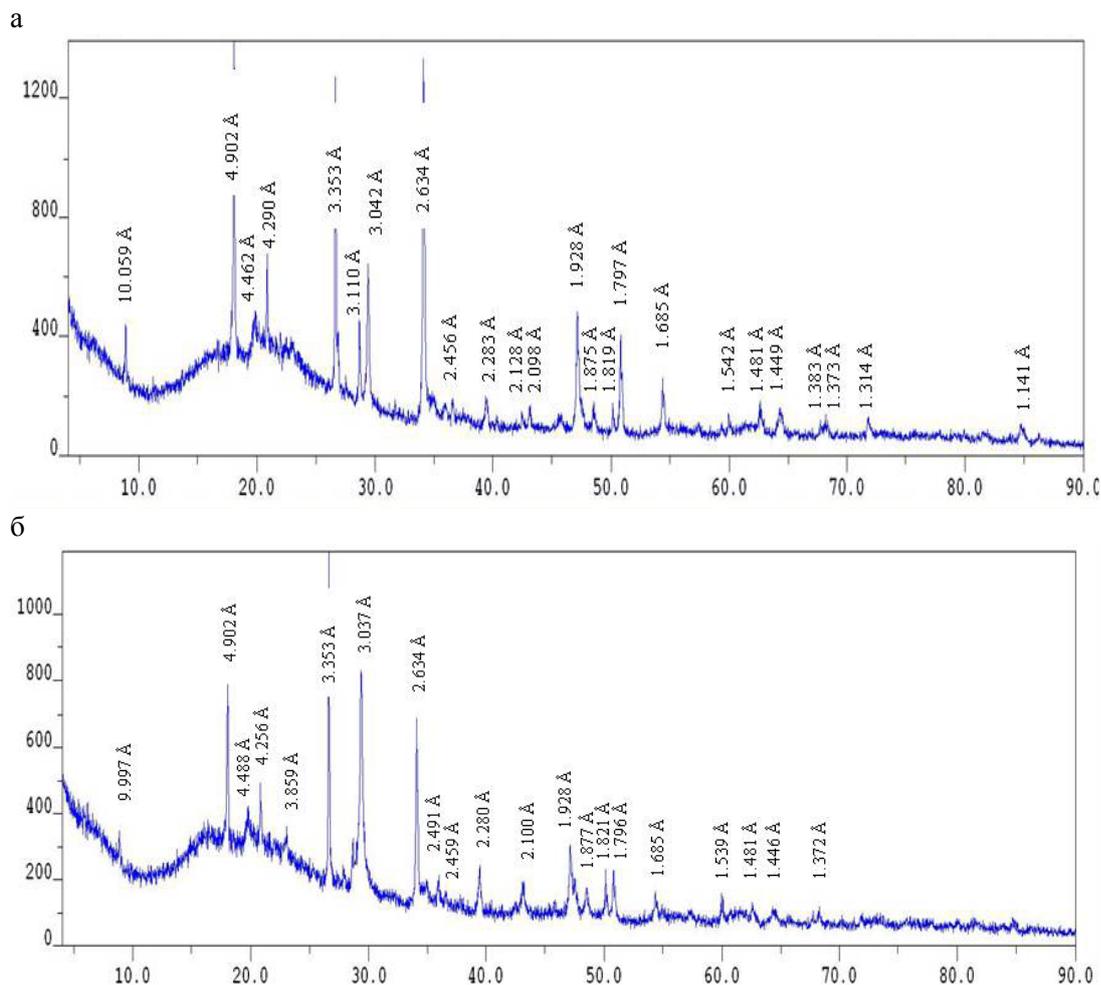


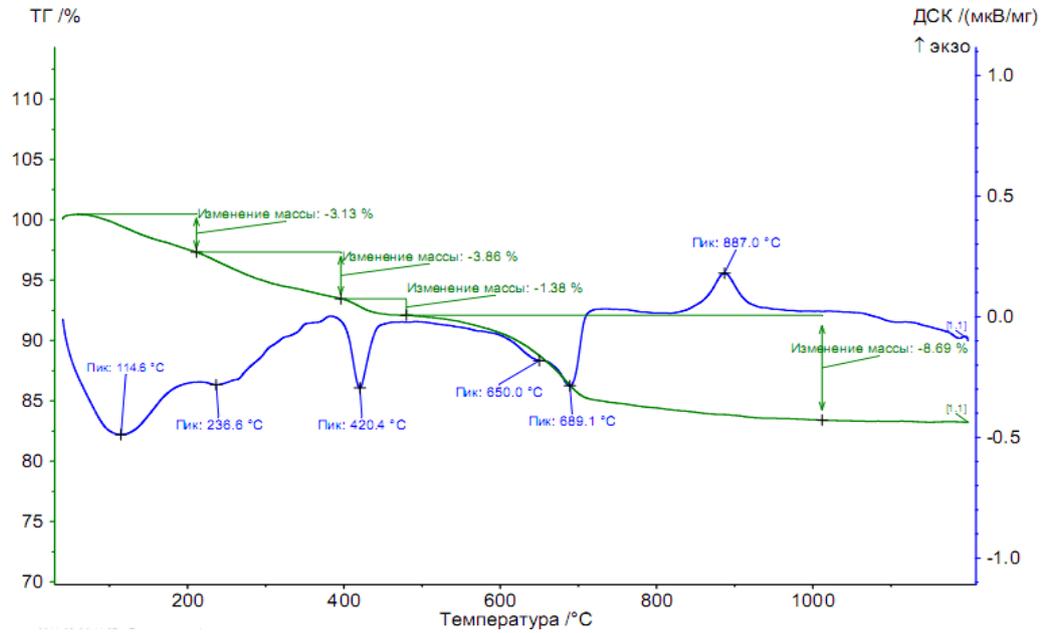
Рис 1. Рентгенограмма известково-диатомовых композитов:

а – базовый состав; б – состав на основе диатомита, модифицированного кремнеземом

Эндоэффект в интервале температур 420,4...423,1 °С соответствует разложению гидроксида кальция, при этом в контрольных образцах потеря массы составляет 4,33 %, в составах на основе активированного золев кремниевой кислоты диатомита – 1,38 %. Полученные данные свидетельствуют о меньшем содержании в композите гидроксида кальция, что подтверждается также данными РФА. Эндотермический эффект при температуре 420,4...423,1 °С связан с удалением химически связанной воды. Температура дегидратации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 479,8 °С свидетельствует о более крупнокристаллических частицах портландита. В составах на основе диатомита, активизированного кремнеземом, исчезает ступенчатый эндоэффект, присутствующий в контрольных образцах. Также по данным ДТА можно идентифицировать разложение CaCO_3 – небольшой эндоэффект (885...887 °С), а также дальнейшую дегидратацию гидросиликатов кальция С–S–Н (692,3...689,1 °С). Дополнительный эндоэффект при температуре 650 °С, отсутствующий на термограмме контрольных образцов, связан с дегидратацией гидросиликатов кальция С–S–Н, что свидетельствует об их большем содержании в известковом композите на основе диатомита, активизированного кремнеземом. Общая потеря массы контрольных образцов составляет 20 %, а образцов, полученных с применением диатомита, активированного золев кремниевой кислоты, – 17,5 %.

Данные РФА и ДТА свидетельствуют о формировании более прочной структуры известкового композита на основе активированного кремнезолом диатомита по сравнению с контрольным составом.

а



б

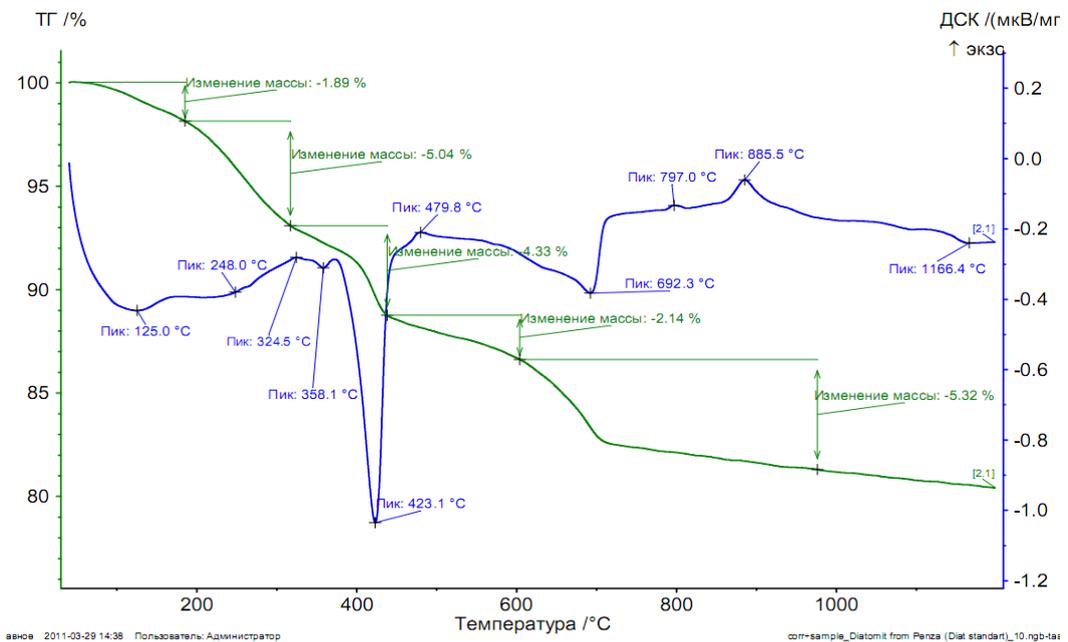


Рис.2. Термограммы известково-диатомового композита:
а – диатомит, обработанный золей кремниевой кислоты; б – неактивированный диатомит

Прочность при сжатии известково-диатомовых композиций
в зависимости от вида активации диатомита

Сорт известки	Водоизвестковое отношение (В/И)	Состав	Прочность при сжатии, МПа		
			Возраст твердения, сут		
			7	14	28
1	2	3	4	5	6
3	2,8	Контрольный	1,23	1,35	1,6
2	2,8	Диатомит, активированный в соотношении диатомит: золь 1:1,125	2,28	2,76	3,12
2	6,0	Контрольный	1,3	1,52	1,82
2	6,0	Диатомит, активированный в соотношении диатомит: золь =1:1,1	2,76	2,76	2,88
2	6,0	Диатомит, активированный в соотношении диатомит: золь =1:1,3	2,82	2,88	3,72
2	6,0	Диатомит, активированный в соотношении диатомит: золь =1:1,5	3,12	3,36	3,92

Прочность при сжатии составов на основе немодифицированного диатомита в возрасте 28 суток твердения в зависимости от водоизвесткового отношения равняется 1,6...1,82 МПа, а с применением диатомита, активированного золей кремниевой кислоты, – 3,12...3,92 МПа (см. таблицу), т.е. прочность увеличивается в 1,95...2,15 раза. (В соответствии с DIN 18550 такие составы являются трещиностойкими.)

Применение предлагаемой технологии получения наполнителя на основе диатомита для ССС позволит отказаться от энергозатратной технологии обжига.

Список литературы

1. Логанина, В.И. Известковые отделочные составы на основе золь-гель технологии [Текст] / В.И. Логанина, О.А. Давыдова //Строительные материалы. – 2009. – №3. – С.50–52.

2. Горшков, В.С. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы. Структура и свойства [Текст]: справ. пособие / В.С. Горшков, В.Г. Савельев, А.В. Абакумов. – М.: Стройиздат, 1975. – С.573.

References

1. Loganina V.I., Davydova O.A. Izvestkovye finishings compositions on basis zol-gel of technology //Stroitel'nye materialy. 2009. №3. P.50-52.

2. Gorshkov V.S., Savel'ev V.G., Abakumov A.V. Astringent, ceramics and steklo-kristallicheskie materials. Structure and properties. Certificate manual. – M.: Stroyizdat, 1975. – P.573.

Оренбургский государственный университет

Россия, 460018, г.Оренбург,
пр.Победы, д.13,
тел./факс 8(3532) 72-37-01

Альбакасов Азамат Илькинович,
кандидат технических наук, доцент, декан
архитектурно-строительного факультета
E-mail: post@mail.osu.ru

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Гарькина Ирина Александровна,
доктор технических наук, доцент кафедры
«Математика и математическое
моделирование».
E-mail: fmatem@pguas.ru

Данилов Александр Максимович,
доктор технических наук, профессор,
советник РААСН, зав. кафедрой
«Математика и математическое
моделирование»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Московский государственный строительный университет

Россия, 129337, г.Москва,
Ярославское шоссе, д. 26,
тел./факс: +7 (495) 781-80-07

Королев Евгений Валерьевич,
доктор технических наук, профессор,
директор Научно-образовательного центра
«Нанотехнологии»
E-mail: korolev_ev@rambler.ru

Orenburg State University

Russia, 460018, Orenburg,
13, prospect Pobedy,
tel./ fax 8(3532) 72-37-01

Albakasov Azamat Ilkinovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Dean of the Faculty of Architecture
and Construction
E-mail: post@mail.osu.ru

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Garkina Irina Aleksandrovna,
Doctor of Sciences.
Associate Professor of the department
«Mathematics and Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Danilov Alexander Maksimovich,
Doctor of Sciences. Professor. Adviser of the
Russian Academy of Architectural and
Building Science. Head of the department
«Mathematics and Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Moscow State University of Civil Engineering

Russia, 129337, Moscow, 26,
Yaroslavskoe shosse,
tel./fax: +7 (495) 781-80-07

Korolev Evgeniy Valeryevich,
Doctor of Sciences, Professor,
Director of Research and Education Center
«Nanotechnology»
E-mail: korolev_ev@rambler.ru

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.И. Альбакасов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев

Приводятся результаты исследований по влиянию тонких (до 75 нм) слоев аппрета на процессы структурообразования и эксплуатационные свойства серных композиционных материалов. Осуществляется разработка составов, технологии изготовления и многокритериальной оптимизации структуры и свойств коррозионно-стойких серных композиционных материалов на аппретированном кварцевом наполнителе, предназначенных для эксплуатации в агрессивных средах. Указываются методологические принципы создания композиционных материалов с использованием системного подхода, модификаций метода ПАТТЕРН и Сатурн-технологии при компьютерном моделировании.

Ключевые слова: материалы специального назначения, управление качеством, системный подход.

MANAGEMENT OF NANOMODIFIED BUILDING MATERIALS STRUCTURE AND PROPERTIES

A.I. Albakasov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev

The authors give research results of thin (up to 75 nm.) finishing layers influence on the sulphur composite materials structure formation and use. They are developing structures, technology of production and many criteria structure and properties optimization of corrosion resistant composite materials on finished quartz filler intended for use in aggressive environment. Methodological principles of making composite materials are defined using systematic attitude, modification of ПАТТЕРН method, Saturn-technology at computer modeling.

Keywords: special-purpose materials, quality control, system concept.

Процесс исследования материала как сложной системы представляет собой организованную в соответствии с технологией системного анализа последовательность многовариантных экспериментов (в том числе вычислительных), на каждом шаге которой для исследования и поиска приемлемых решений варьируются структура и значения параметров модели; производится оценка результатов и принимается решение о дальнейшем направлении исследования. С теоретической точки зрения необходимы автоматизированная интеллектуальная технология и системная среда машинного исследования материалов как систем. Фундаментальную роль играют алгоритмическое знание и методы доказательного программирования на основе регулярного применения логических уравнений в качестве основного формализма представления модели проблемной области – САТУРН-технология [1]. В известной мере САТУРН-технология можно рассматривать как модификацию метода ПАТТЕРН (успешно использовался при исследовании динамики и проектировании систем управления сложными объектами с системных позиций [2,3,4]).

Методологической основой построения математических моделей сложных систем здесь является *модульность структурных свойств* (сложная система представляется в виде совокупности взаимодействующих элементов). Алгоритмическое знание о математических моделях, методах и методиках исследования имеет сложную иерархическую модульную структуру. Используются три концептуально обособленных слоя: вычислительный, схемный и продукционный (примеры реализации в [2], [5]).

В соответствии с [1] в иерархии слоев понятия *продукционного слоя* (определяют технологию решения задач анализа и проектирования материала) раскрываются через понятия *схемного слоя* (система согласованных объектов, в качестве которых выступают операции и параметры для описания модульной структуры математической модели и алгоритмов ее исследования; схемные знания отражают весь интересующий исследователя набор понятий, необходимых для описания структурных особенностей и характеристик блоков математических моделей и методов их исследования), которые, в свою очередь, раскрываются через понятия *вычислительного слоя* (является основанием всей пирамиды знаний в виде библиотек, снабженных спецификациями, а также автономно транслируемых и отлаживаемых модулей подпрограмм).

При рассмотрении материалов как систем сложность подразумевается на модельном уровне (прежде всего составной характер математической модели). Это означает представление сложной модели в виде взаимодействующих подсистем, модулей и элементов и связей между ними. Важно указать наиболее часто используемые на практике алгоритмические модели, когда описывающие сложные системы уравнений оформляются в виде множества взаимосвязанных процедур, а организованный на этой основе вычислительный процесс в определенном смысле позволяет описать поведение моделируемой системы. При компьютерном моделировании база алгоритмических знаний определяется как совокупность понятий «модель – метод – методика».

Рассмотрим приложение указанного подхода к *разработке наномодифицированных коррозионно-стойких серных строительных материалов*. При управлении структурой и свойствами предполагается их представление в виде *совокупности модулей, каждый из которых описывает выделенное свойство материала* (плотность, пористость, сопротивление удару и истиранию, стойкость в агрессивных средах, водо-

стойкость, морозостойкость, атмосферостойкость, термостойкость, адгезионная стойкость и др.).

Прежде всего отметим, что для получения химически стойкого композита целесообразно использовать компоненты, устойчивые в эксплуатационных средах. Высокой стойкостью должны обладать не только основные ингредиенты (наполнители и вяжущее), но и химические соединения, образующиеся на границе раздела фаз. Распространенные соединения, входящие в состав минералов, по отношению к сере являются химически активными, что во многих случаях приводит к образованию растворимых веществ, снижающих показатели эксплуатационных свойств.

Почти *универсальной стойкостью* к действию различных кислот и солей обладает кварцевый наполнитель, который в измельченном состоянии является химически активным по отношению к сере (образуется растворимый в воде дисульфид кремния). В технологии стекло- и углепластиков широко применяется для повышения эксплуатационных свойств способ аппретирования; аналогичный способ разрабатывается и для серных композитов. Предполагается, что *формирование на границе раздела фаз «серное вяжущее – дисперсная фаза (кварцевый порошок)» наноразмерного слоя модификатора, образующегося в результате физико-химических превращений прекурсора в процессе получения материала, позволит предотвратить образование водорастворимых сульфидов кремния и существенно повысить показатели эксплуатационных свойств, включая долговечность материала.*

Что касается *традиционных химически стойких композитов*, то по ГОСТ 25246-82** бетоны оцениваются коэффициентом K_{xc} химической стойкости: $K_{xc} \geq 0,8$ – высокостойкие, $0,5 \leq K_{xc} < 0,8$ – стойкие, $0,3 \leq K_{xc} < 0,5$ – относительно стойкие, $K_{xc} < 0,3$ – нестойкие; по виду вяжущего они подразделяются на фурановые (смолы ФАМ, ФА), полиэфирные (смола ПН-1), фураново-эпоксидные (смола ФАЭД-20), карбамидные (смола КФ-Ж), акриловые (мономер ММА) и жидкостекольные (жидкое натриевое или калиевое стекло).

Многолетняя практика использования традиционных химически стойких бетонов показала, что они не обладают универсальной стойкостью. Область их применения, как правило, определяется индивидуальными свойствами вяжущего вещества; для обеспечения направленного структурообразования, повышения физико-механических и эксплуатационных свойств композитов вводятся дисперсные фазы.

На практике используются и другие *органические и неорганические вяжущие*: каучуки, сера, глётглицериновый цемент и др.; заполнители – как плотные, так и пористые. При применении *минеральных вяжущих* часто используются жидкое стекло и различные виды цементов.

Под воздействием агрессивных растворов и газов бетон на основе портландцемента подвергается коррозии (разрушается как в кислых, так и в щелочных средах). Некоторые направления повышения долговечности бетонов приводятся на рис. 1.

Механизм разрушения цементного камня состоит в постепенном взаимодействии портландита и силикатов кальция с агрессивной средой с удалением соединений кальция в результате их вымывания из тела бетона или образования труднорастворимых соединений, приводящих к возрастанию внутреннего напряжённого состояния.

Для повышения химической стойкости используются шлакопортландцементы, пуццолановые, сульфатостойкие цементы и др.

Для увеличения *плотности структуры* цементного камня применяют упрочняющие, кольматирующие и пластифицирующие добавки (повышаются водонепроницаемость, химическая стойкость, морозостойкость бетонов и растворов). В частности, введение пластифицирующей добавки, модифицированной азотной кислотой (лигносульфанат), приводит к улучшению поровой структуры бетона, росту его прочности и химической стойкости.

Для *повышения долговечности* бетона используются ингибиторы коррозии и кремнийорганические соединения: силиконаты натрия (жидкости) – ГКЖ-10, ГКЖ-11, порошки – ГКП-10, ГКП-11.



Рис. 1. Способы повышения химической стойкости портландцементного камня

Основные технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства серных композиционных материалов зависят от различных рецептурно-технологических факторов. Особое место среди них занимают *подвижность* и *удобоукладываемость* смеси. Так, технологические свойства смесей на основе серного вяжущего можно регулировать, изменяя вид и количество модифицирующей добавки, вид и дисперсность наполнителя, степень наполнения материала, температуру компонентов при их совмещении, способ и условия изготовления композита; существенное влияние на подвижность серных мастик оказывают физико-химические взаимодействия, происходящие на границе раздела фаз «сера – наполнитель» [6]. При постоянной толщине h вяжущего наполнителя $S_{уд}$ приводит к снижению энергии E_{Σ} , затрачиваемой на перемещение частиц, и, следовательно, к уменьшению предельного напряжения сдвига τ :

$$E_{\Sigma} = A \cdot \left(1 + \frac{h}{d_f}\right)^{-1} = A \cdot \sqrt[3]{\frac{v_f}{\eta}}, \quad \tau = a \cdot \left(\frac{h}{d_f}\right)^{-b} = ae^{bv_f},$$

где $\frac{h}{d_f} = \sqrt[3]{\frac{\eta}{v_f}} - 1$ определяет степень наполнения материала; η – предельная плотность упаковки частиц наполнителя (для монодисперсного наполнителя $\eta=0,74$); v_f – объёмная степень наполнения; A – константа; a, b – эмпирические коэффициенты.

Серные мастики являются типичными дисперсными системами, полученными на основе маловязкой дисперсионной среды и тонкомолотых дисперсных фаз. *Эволюция* таких *систем* определяется взаимодействиями между структурообразующими элементами, в результате которых могут образовываться флокулы, оказывающие значительное влияние на реологические свойства смеси и эксплуатационные свойства композиционных материалов. Одним из условий, определяющих возможность *флокулообразования* (*коагуляцию*), является смачиваемость поверхности наполнителя вяжущим; результаты машинного моделирования процессов флокулообразования в серных мастиках, изготовленных на лиофильных и лиофобных дисперсных фазах, подробно рассматриваются в [7].

Формирование структуры и свойств серных композитов определяется однородностью распределения частиц дисперсной фазы и физико-химическими взаимодей-

ствиями на границе раздела фаз (прежде всего интенсивность указанных взаимодействий; незавершенность процессов поверхностного физико-химического взаимодействия приводит к образованию развитой поровой структуры с невысокой прочностью).

Введение модифицирующих добавок снижает интенсивность протекания химических реакций на границе раздела фаз и способствует формированию плотной мелкокристаллической структуры.

В связи с большими методологическими и техническими проблемами *экспериментальное определение внутренних напряжений* в серных материалах практически невозможно (в частности, датчиками, введенными в расплавленную смесь, фиксируются только их локальные изменения).

Оптимизация рецептурно-технологических параметров в соответствии с [8] осуществлялась в области наполнения $v_f \in (0,35...0,4)$ и дисперсности наполнителя $S_{уд} > 125...150 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Средняя плотность и пористость серных композитов определяется видом, количеством и удельной поверхностью наполнителя; видом и концентрацией модификаторов; процессами на границе раздела фаз; технологией изготовления и уплотнения. Наибольшее повышение средней плотности наблюдается при введении наполнителя с высокой собственной плотностью (при увеличении степени наполнения на $\Delta v_f = 0,1$ прирост средней плотности мастик на оксиде свинца составляет $\sim 350 \text{ кг/м}^3$; мастик на барите – 206 кг/м^3). *Зависимости пористости* серных мастик от степени наполнения соответственно для *инертных* и *химически активных* наполнителей аппроксимируются в виде:

$$\Pi = a + bv_f + cv_f^2, \quad \Pi = \frac{a + bv_f}{1 + cv_f + dv_f^2},$$

a, b, c, d – эмпирические коэффициенты.

Прочность серного бетона аппроксимируется функцией

$$R_6 = A R_{см} (v_{см} \pm B),$$

где $R_{см}$ – прочность серной мастики; $v_{см}$ – объёмная доля серной мастики в бетоне; A (характеризует вид и качество вводимого заполнителя) и B («структурный» коэффициент, характеризует изменение пористости бетона при введении в его состав заполнителей) – эмпирические коэффициенты. Для *армированных* (волокнами) материалов *ударная прочность* описывается функцией

$$R_{уд} = R_{\max} - ae^{-b\mu},$$

где R_{\max} – максимальная ударная прочность; μ – коэффициент армирования (% от массы серы); a, b – эмпирические коэффициенты.

Стойкость серных композитов в воде зависит от глубины ее проникновения в структуру материала. Гидрофобность серы приводит к медленному процессу водопоглощения, определяемому функцией вида

$$W_m = a \cdot (1 - e^{-b\tau}),$$

где a, b – эмпирические коэффициенты; b характеризует скорость сорбции воды материалом. Регулирование водостойкости в небольших пределах возможно введением модифицирующих добавок (введение парафина и стеариновой кислоты в серные мастики приводит к повышению водостойкости; добавление керосина, барита и тиокола снижает этот показатель).

Морозостойкость серных композитов в основном определяется структурой серного вяжущего (формирование мелкокристаллической структуры серы приводит к увеличению устойчивости материала к воздействиям отрицательных температур). С

повышением температуры прочность серных композитов уменьшается; *стойкость при циклическом изменении* определяется моделью термостойкости вида

$$k_T = (a + bN)^c,$$

где N – количество циклов; a, b, c – эмпирические коэффициенты.

Прогнозирование химической стойкости серных композитов проводят посредством анализа кинетических и энергетических параметров процесса деструкции материала:

$$k_d = \frac{b}{c} F_0^{-c}; \quad \Delta S = R \ln(F_0^{-1-c}); \quad B_E = RT_3 \ln\left(\frac{b}{c} F_0^{-2c-1}\right); \quad U = RT_3 \ln\left(\frac{c}{b} F_0^c\right),$$

где ΔS – удельное количество энергии, поглощенной материалом; B_E – энергетический показатель процесса деструкции; k_d – константа, характеризующая динамику и интенсивность протекания структурообразующих процессов; U – энергия активации процесса деструкции; a, b, c – эмпирические коэффициенты; T_3 – температура среды.

Способность материала сопротивляться внешним воздействиям определяется коэффициентом:

$$k_E = \frac{U}{|\Delta S|}.$$

Материал, обладающий высокой стойкостью, соответствует условиям: $k_E = \max$ и $|\Delta S| = \min$.

При изучении формирования физико-механических характеристик рассматриваемых материалов широко использовалась приведенная в [2] методика.

Модульная структура серных композитов определялась на основе их *когнитивного моделирования*. В частности, *декомпозиция интенсивных свойств* коррозионно-стойких серных композитов на аппретированном кварцевом наполнителе проводилась в соответствии с рис.2.

Многокритериальная оптимизация осуществлялась в соответствии с [10].

Результаты многокритериальной оптимизации приводятся в таблице.

Основные свойства разработанного коррозионно-стойкого серного композита на аппретированном кварцевом наполнителе

Наименование показателя	Значение показателя
Предельное напряжение сдвига расплава, Па	66
Средняя плотность, кг/м ³	2200
Пористость, %	4,15
Предел прочности при изгибе, МПа	16,3
Предел прочности при сжатии, МПа	51,3
Коэффициент трещиностойкости	0,32
Модуль упругости, МПа	18800
Модуль деформации, МПа	3710
Коэффициент интенсивности напряжений, МПа·м ^{0,5}	0,56
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	1,12
Водопоглощение по массе, %	0,25
Коэффициент диффузии, м ² /с	0,95·10 ⁻¹²

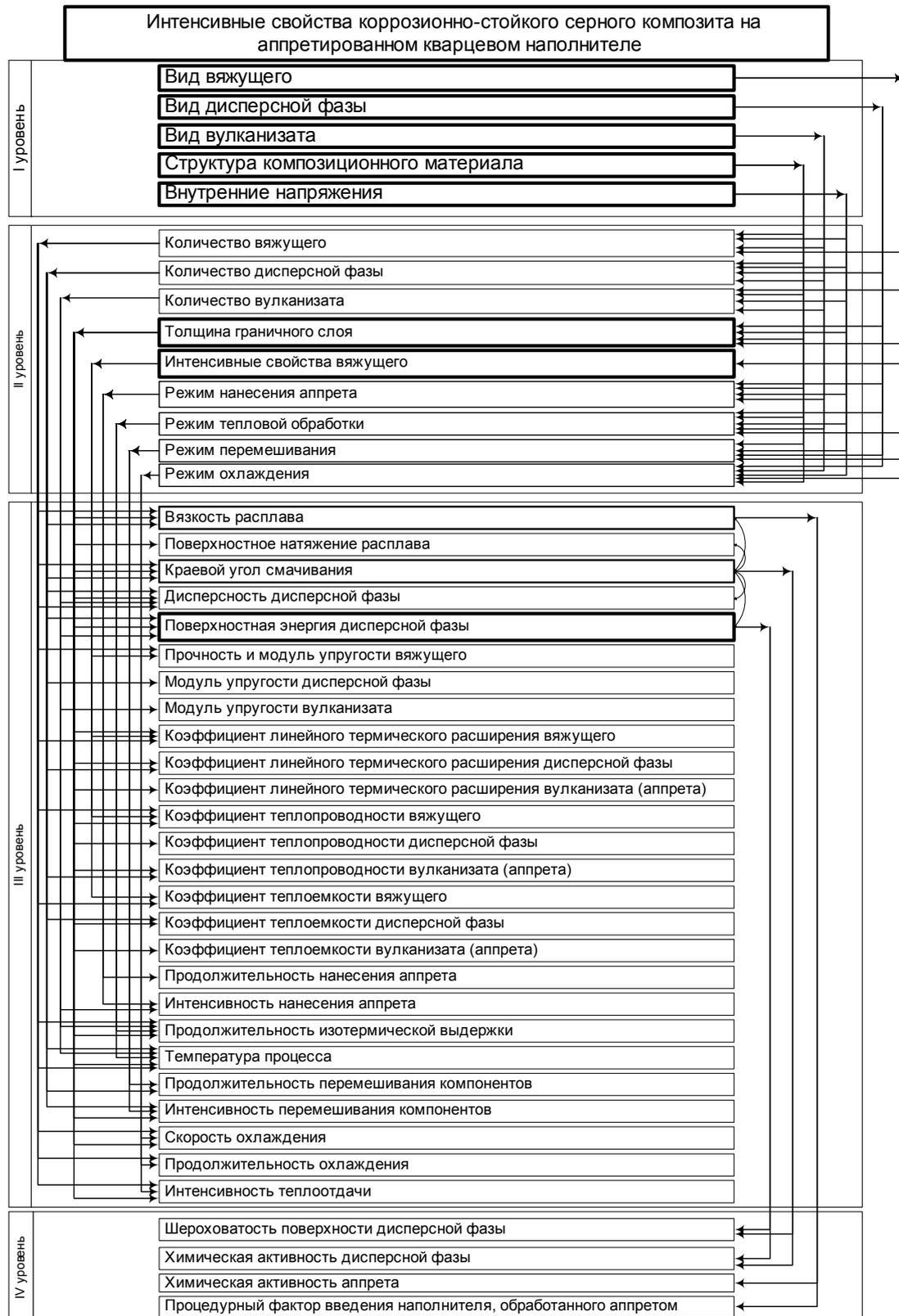


Рис.2. Декомпозиция интенсивных свойств коррозионно-стойких серных композитов на аппретированном кварцевом наполнителе

Заключение

1. Представлены методологические принципы создания коррозионно-стойких серных композитов на химически активных (по отношению к расплаву серы) наполнителях.

2. Для повышения эксплуатационных свойств композитов предлагается проводить модифицирование поверхности наполнителя прекурсорами, претерпевающими в процессе изготовления материала физико-химические преобразования и образующими наноразмерный слой модификатора, обеспечивающий снижение внутренних напряжений, а также предотвращающий химическое взаимодействие на границе «сера – наполнитель».

3. Показана высокая эффективность наномодифицирования границы раздела фаз «сера – наполнитель». При толщине слоя аппрета 45...75 нм достигается увеличение физико-механических и эксплуатационных свойств соответственно до 50 и 30 %.

Список литературы

1. Васильев, С.Н. Интеллектуальный подход к автоматизации моделирования сложных управляемых систем [Текст] / С.Н.Васильев, Г.А.Опарин, А.Г.Феоктистов // Тр. Междунар. конф. RDRAMM-2001. – Новосибирск, 2001. Т. 6. Ч.2. Спец. вып. – С.159–168.
2. Гарькина, И.А. Строительные материалы как системы [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Строительные материалы. – 2006. – № 7. – С.55–58.
3. Данилов, А.М. Динамика и управление внеатмосферными астрономическими обсерваториями [Текст] / А.М. Данилов, Л.З. Дулькин, А.С. Земляков, В.М. Матросов, В.А. Стрежнев // Управление в пространстве. – М.: Наука, 1976. Т.1.– С.153–171.
4. Гарькина, И.А. Системный подход к разработке материалов: модификация метода ПАТТЕРН [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Вестн. МГСУ. – 2011. – № 2, Т.2. – С.400–405.
5. Гарькина, И.А. Когнитивное моделирование сложных слабоструктурированных систем: пример реализации [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Региональная архитектура и строительство. – 2008. – №2(5). – С.16–21.
6. Наномодифицированные коррозионно-стойкие серные строительные материалы / Ю.М. Баженов, Е.В. Королев, И.Ю. Евстифеева, О.Г. Васильева. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева, 2008. – 167 с.
7. Гарькина, И.А. Флокуляция в дисперсных системах [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, В.А. Смирнов // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 2,3(32). – С.344–347.
8. Королев, Е.В. Радиационно-защитные и коррозионно-стойкие серные строительные материалы [Текст] / Е.В. Королев, А.П. Прошин, Ю.М. Баженов, Ю.А. Соколова. – М.: Палеотип, 2004. – 464 с.
9. Альбакасов, А.И. Дисперсные фазы для серных композитов специального назначения [Текст] / А.И. Альбакасов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №2(11).
10. Скачков, Ю.П. Модификация метода ПАТТЕРН к решению архитектурно-строительных задач [Текст] / Ю.П. Скачков, А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №1(10). – С.4–9.

References

1. Vasiljev, S.N. Intellect attitude to automatization of complicated guided systems modeling [Text] / S.N. Vasiljev, G.A.Oparin, A.G.Feoktistov // International conference RDRAMM-2001. Novosibirsk, 2001. V. 6, Part 2. – P. 159–168.
2. Garkina, I.A. Building materials as systems [Text] / Garkina I.A., Danilov A.M., Koroliyov Y.V. // Building materials. – 2006. – N 7. – P. 55–58.

3. Danilov, A.M. Dynamics and management of extra atmospheric astronomic observatories [Text] / A.M. Danilov, L.Z. Dulkan, A.S. Zemljakov, V.M. Matrosoy, V.A. Strezhnev // Management in space. – M.: Nauka, 1976. V.1. – P. 153–171.
4. Garkina, I.A. Systematic approach to materials development: modification of ПАТТЕPH method [Text] / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.V. Koroliov // Vestnik MSBU. – 2011. – N 2, V. 2. – P. 400–405.
5. Garkina, I.A. Cognitive modeling of complicated poorstructural systems: example of realization [Text] / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.V. Koroliov // Regional Architecture and Construction. – 2008. – N 2 (5). – P. 16–21.
6. Nanomodified corrosion-resistant sulphur building materials / Y.M. Bazhenov, Y.V.Koroliev, I.Y. Evsifeyeva, O.G.Vasilieva. – M.: ПГАУ-МСХА, 2008. – 167 p.
7. Garkina, I.A. Flocculation in disperse systems [Text] / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.A. Smirnov // Management Systems and Information Technology. – 2008. – № 2,3(32). – P.344–347.
8. Koroliov, Y.V. Radiation-protective and corrosion-resistant sulfur construction materials [Text] / Y.V. Koroliov, A.P. Proshin, Yu.M. Bazhenov, Yu.A. Sokolova. – M.: Paleotip, 2004. – 464 p.
9. Al'bakasov, A.I. Disperse fillers for sulfur composites of spetial-purpose [Text] / A.I. Al'bakasov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.V. Koroliov // Regional Architecture and Construction. – 2011. – № 1 (10).
10. Skachkov, Y. P. Variation of the PATTERN method in context of architectural and constructional problems [Text] / Y. P. Skachkov, A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional Architecture and Construction. – 2010. – № 2 (9). – P. 4–9.

УДК 519.7; 691; 681.51.015; 517.958

*Оренбургский государственный университет*Россия, 460018, г.Оренбург,
пр.Победы, д.13,
тел./факс 8(3532) 72-37-01**Альбакасов Азамат Илькинович,**
кандидат технических наук, доцент, декан
архитектурно-строительного факультета
E-mail: post@mail.osu.ru*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77**Гарькина Ирина Александровна,**
доктор технических наук, доцент кафедры
«Математика и математическое
моделирование».
E-mail: fmatem@pguas.ru**Данилов Александр Максимович,**
доктор технических наук, профессор,
советник РААСН, зав. кафедрой
«Математика и математическое
моделирование»
E-mail: fmatem@pguas.ru*Московский государственный строительный университет*Россия, 129337, г.Москва,
Ярославское шоссе, д. 26,
тел./факс: +7 (495) 781-80-07**Королев Евгений Валерьевич,**
доктор технических наук, профессор,
директор Научно-образовательного центра
«Нанотехнологии»
E-mail: korolev_ev@rambler.ru*Orenburg State University*Russia, 460018, Orenburg,
13, prospect Pobedy,
tel./ fax 8(3532) 72-37-01**Albakasov Azamat Ilkinovich,**
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Dean of the Faculty of Architecture
and Construction
E-mail: post@mail.osu.ru*Penza State University of Architecture and Construction*Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77**Garkina Irina Aleksandrovna,**
Doctor of Sciences.
Associate Professor of the department
«Mathematics and Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru**Danilov Alexander Maksimovich,**
Doctor of Sciences. Professor. Adviser of the
Russian Academy of Architectural and
Building Science. Head of the department
«Mathematics and Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru*Moscow State University of Civil Engineering*Russia, 129337, Moscow, 26,
Yaroslavskoe shosse,
tel./fax: +7 (495) 781-80-07**Korolev Evgeniy Valeryevich,**
Doctor of Sciences, Professor,
Director of Research and Education Center
«Nanotechnology»
E-mail: korolev_ev@rambler.ru

ДИСПЕРСНЫЕ ФАЗЫ ДЛЯ СЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.И. Альбакасов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев

На основе методов химической термодинамики разработана методика выбора дисперсных фаз для серных композитов специального назначения.

Ключевые слова: серные радиационно-защитные материалы, дисперсные фазы.

DISPERSE FILLERS FOR SULFUR COMPOSITES OF SPECIAL-PURPOSE

A.I. Albakasov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev

By means of chemical thermodynamics a methodic of disperse fillers choice for sufur composites of special purpose is developed.

Keywords: sulfur-based radiation-protective composites, disperse fillers.

Физико-технические и эксплуатационные свойства серных бетонов, дисперсно-армированных и других композиционных материалов во многом зависят от свойств и количества серной мастики (серного цемента). Обычно под ней понимается специальным образом подобранная и тщательно перемешанная смесь расплава серы, наполнителя и модифицирующих добавок, обладающая оптимальными реологическими и физико-механическими свойствами и способная при охлаждении образовывать прочное камневидное тело. Известно, зависимости структурно-чувствительных свойств композиционных материалов от вида, дисперсности и количества наполнителя имеют экстремальный характер.

Для получения композитов, стойких в особо агрессивных средах, необходимо учитывать не только рецептурно-технологические факторы, но и устойчивость компонентов материала в агрессивной среде. При этом высокой стойкостью должны обладать не только наполнитель и связующее, но и соединения, которые могут образоваться при взаимодействии компонентов на границе раздела фаз. Особенно это актуально при изготовлении композиционных материалов на основе серы, которая, как известно, при нагревании вступает в химическое взаимодействие со многими веществами.

При выборе наполнителя для изготовления композиционных материалов, работающих в условиях воздействия радиации, необходимо учитывать и их функциональную принадлежность. Для таких материалов используют наполнители, обеспечивающие эффективное поглощение ионизирующего излучения, а для радиационно-стойких композитов – наполнители, позволяющие регулировать процессы структурообразования и свойства материала. Такие наполнители должны поглощать незначительное количество энергии ионизирующих излучений при небольших структурных преобразованиях с обеспечением высокой радиационной стойкости наполнителя и композита. Отсюда очевидно, что выбор вида наполнителя для композиционного материала, подвергающегося воздействиям радиации, должен базироваться на подборе его химического состава, обеспечивающего эффективное поглощение или относительную «прозрачность» наполнителя к ионизирующему излучению. Это следует и из работы [1], а именно, изменение массы конструкции для радиационной защиты при замене базового материала с обеспечением требуемого уровня радиационной безопасности определяется в виде

$$\delta m = A \ln \left(\frac{B_{\text{эт}}}{B_{\text{н}}} \right) - M_{\text{н}} A \left[\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{\text{эт}} - \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{\text{н}} \right]. \quad (1)$$

Здесь δm – относительное изменение массы конструкции защиты; B – фактор накопления; $A = \left[M_{\text{эт}} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{\text{эт}} \right]^{-1}$; $\frac{\mu}{\rho}$ – массовый коэффициент ослабления излучения; индексы эт, н соответствуют базовому и новому радиационно-защитному материалу конструкции.

Влияние химического состава при $B_{\text{эт}} = B_{\text{н}}$ очевидно:

$$\delta m = 1 - \frac{(\mu/\rho)_{\text{н}}}{(\mu/\rho)_{\text{эт}}}. \quad (2)$$

Повышение эффективности материала сопровождается, как правило, увеличением затрат на его изготовление. Для оценки эффективности применения разработанного материала здесь использовался показатель

$$q_{\text{ef}} = \frac{\delta C}{\delta \left(\frac{\mu}{\rho} \right)}, \quad (3)$$

характеризующий полезный эффект от увеличения его себестоимости;
 $\delta C, \delta\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$ – относительное изменение себестоимости и массового коэффициента
 ослабления соответственно.

Применение материала эффективно при

$$q_{ef} \leq 1 \quad (4)$$

(рис. 1, области эффективных и неэффективных материалов лежат соответственно ниже и выше прямой $q_{ef} = 1$; $\delta C = \delta\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$).

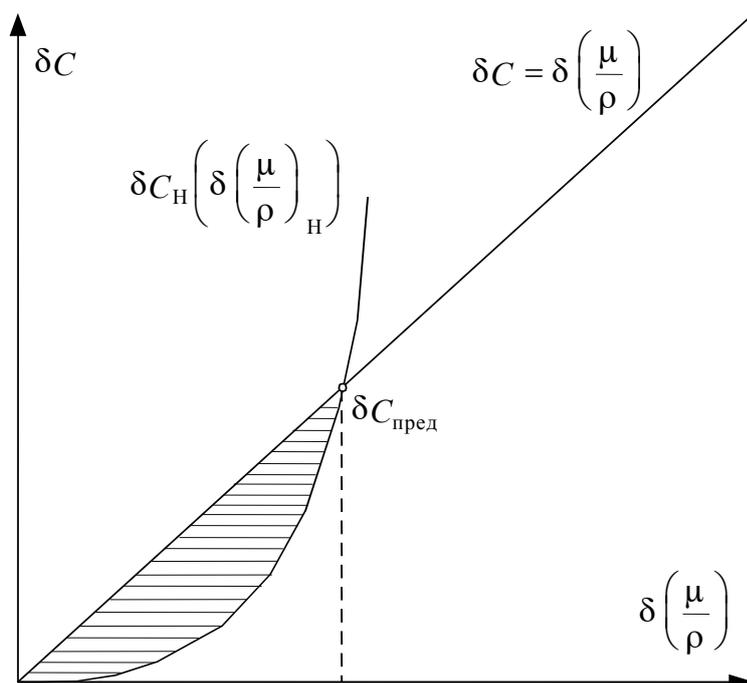


Рис. 1. Граница множества Парето в пространстве критериев

Кроме эффективного химического состава наполнители для композиционных материалов, стойких в особо агрессивных средах, должны обладать следующими свойствами:

- хорошо смачиваться расплавом серы;
- не вступать во взаимодействие с серой или образовывать соединения, устойчивые в эксплуатационных средах;
- иметь температурный коэффициент линейного расширения, близкий по значению к аналогичному показателю для серного вяжущего;
- иметь невысокий модуль упругости;
- обладать высокой стойкостью к эксплуатационным воздействиям.

Трудности получения наполнителей, удовлетворяющих указанным требованиям, привели к необходимости использования комплексных наполнителей, где каждый из компонентов позволяет регулировать процесс структурообразования и функциональные свойства материала. В качестве таких наполнителей использовали смеси веществ, включающие химические элементы как с большой, так и малой атомными массами (смесь барита и угольной сажи, отходы тяжелых флинтос и др.).

При выборе вида наполнителя, предназначенного для изготовления серных композиционных материалов, стойких в химически агрессивных средах (например, в растворах плавиковой кислоты), использовались методы химической термодинамики.

Являясь наиболее универсальным, термодинамический подход позволяет определить возможности протекания химического процесса. На практике для оценки направленности процесса используют изобарно-изотермический потенциал ΔZ :

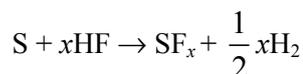
$$\Delta Z = \Delta H - T \cdot \Delta S,$$

где ΔH , ΔS – энтальпия и энтропия процесса соответственно; T – температура.

Учитывались возможности протекания процессов:

- между *наполнителем* и *серой* в процессе приготовления материала;
- между *наполнителем* и *плавиковой кислотой*, а также между *серой* и *плавиковой кислотой* в процессе эксплуатации материала;
- между *сульфидами*, образующимися на границе раздела фаз «сера – наполнитель», и *плавиковой кислотой*.

Расчеты показали, что сера устойчива к действию плавиковой кислоты. Так, при механизме реакции



значение изобарно-изотермического потенциала реакции при $x = 6$ равно 727,96 кДж/моль ($\Delta Z > 0$).

Наблюдается незначительное снижение прочности серы в процессе экспозиции в растворах HF (рис. 2). Снижение прочности серных образцов объясняется не только деструктивными процессами, протекающими под действием плавиковой кислоты, но и аллотропными превращениями серы, сопровождающимися объемными изменениями, приводящими к возникновению внутренних напряжений.

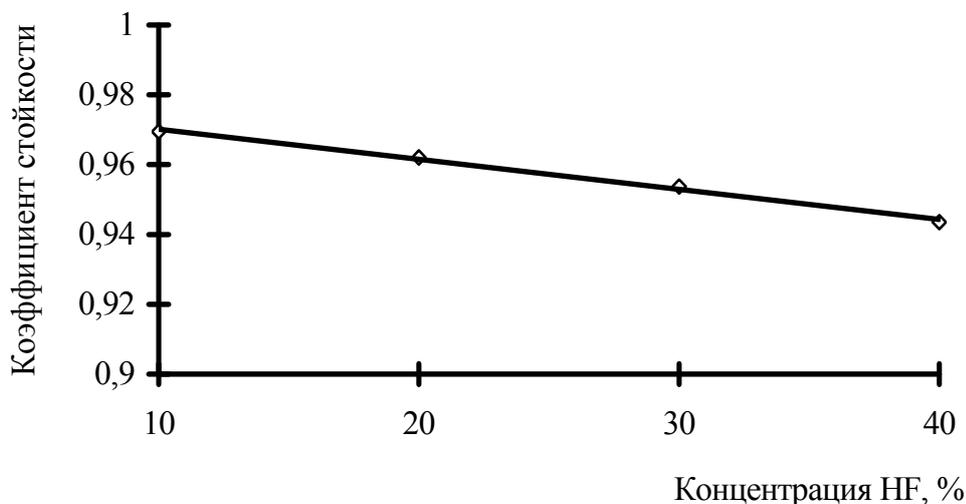


Рис. 2. Стойкость образцов серы в растворах плавиковой кислоты различной концентрации

Результаты термодинамического анализа основных породообразующих минералов, а также наиболее распространенных соединений, входящих в состав минералов, приводятся в таблице.

В таблице знаками «+» и «-» соответственно указаны возможность и невозможность использования соединения в качестве наполнителя; возможность использования компонента после экспериментального уточнения отмечена «*»; вопросительный знак соответствует отсутствию в справочной литературе данных по термодинамическим показателям.

Из таблицы следует, что для изготовления серных материалов, стойких в растворах плавиковой кислоты, возможно использование CuO , $CuCO_3$, Cu_2SO_4 и $FeCO_3$. В связи со способностью таких соединений вступать во взаимодействие как с плавиковой кислотой, так и с серой, образуя устойчивые к плавиковой кислоте сульфиды, применение таких наполнителей связано с необходимостью экспериментальных уточнений.

Изготовление серных композитов, стойких в растворах плавиковой кислоты, возможно и на основе барита и ангидрита (инертны к действию плавиковой кислоты ($\Delta Z > 0$)). Также возможно использование углеродсодержащих материалов (графит, кокс, сажа и др.), фторидов кальция и магния, традиционно используемых в качестве наполнителей при изготовлении полимербетонов, стойких в растворах плавиковой кислоты [2–4].

Результаты термодинамических расчетов

Соединение	Энергия Гиббса, кДж/моль			Примечания
	образование сульфида	образование фторида	образование фторида из сульфида	
1	2	3	4	5
Оксиды				
Na ₂ O	-255,6	–	-220	–
K ₂ O	-464,4	-444,94	-159,4	–
MgO	-72,10	-193,04	–	–
CuO	-148,06	-50,04	77,7	*
CaO	-178,40	-249,34	-172,4	–
ZnO	-72,8	-84,44	-1	–
BaO	-117,8	-312,24	-200,0	–
Al ₂ O ₃	2750,18	-354,92	–	–
SiO ₂	379,36	-99,08	–	–
PbO	-107,87	-133,04	-19,9	–
MnO	-12,4	-132,94	-73,4	–
FeO	15,15	-65,8	-5,9	–
Соли				
Na ₂ CO ₃	613,6	-2251,68	-220,0	–
Na ₂ SO ₄	-43,2	306,0	-220,0	–
K ₂ CO ₃	-269,0	-101,62	-159,4	–
K ₂ SO ₄	315,6	96,3	-159,4	–
MgCO ₃	–	-272,72	–	?
MgSO ₄	–	-57,0	–	?
CuCO ₃	-565,4	-450,02	77,7	*
Cu ₂ SO ₄	-24,9	29,3	77,7	*
CaCO ₃	530,4	-119,12	-172,4	–
CaSO ₄	240,89	13,7	-172,4	+
ZnCO ₃	-823,6	-624,7	-1,0	–
ZnSO ₄	69	11,9	-1,0	–
BaCO ₃	631,8	-962,82	-200	–
BaSO ₄	295,40	59,3	-200	+
PbCO ₃	282,4	-90,62	-19,9	–
PbSO ₄	114,6	38	-19,9	–
MnCO ₃	412,2	-79,22	-73,4	–
MnSO ₄	139,2	9,7	-73,4	–
FeCO ₃	356,8	-39,42	-5,9	*
FeSO ₄	1813,8	2226,5	-5,9	–

Результаты исследований использовались при разработке серных композиционных материалов для защиты от радиации и стойких в растворах плавиковой кислоты. Разработанные материалы рекомендуются для изготовления ограждающих конструкций

подземных хранилищ радиоактивных отходов, штучных изделий для футеровки ограждающих конструкций на предприятиях химической отрасли.

Список литературы

1. Радиационно-защитные и коррозионно-стойкие серные строительные материалы [Текст] / Е.В. Королев, А.П. Прошин, Ю.М. Баженов, Ю.А. Соколова. – М.: Палеотип, 2006. – 272 с.
2. А.с. №1218625 С 04 В 26/14. Полимерраствор [Текст] / В.И. Соломатов, А.П. Прошин, А.И. Щаников, М.Ф. Волочек, А.Ф. Пащевский (СССР), заявл. 30.11.83.
3. А.с. №1297405 С 04 В 26/14. Полимерраствор [Текст] / А.П. Прошин, В.И. Соломатов, А.В. Пресняков, А.В. Григорьев (СССР), заявл. 19.11.84.
4. Баженов, Ю.М. Системный подход к разработке и управлению качеством строительных материалов [Текст] / Ю.М. Баженов, А.М. Данилов, И.А. Гарькина, Е.В. Королев, Ю.А. Соколова; под ред. академика РААСН Ю.М. Баженова. – М.: Палеотип, 2006. – 186 с.

References

1. Radiation-protective and corrosion resistant sulphur building materials / Y.V. Koroliyov, A.P. Proshin, Y.M. Bazhenov, Y.A. Sokolova. – М.: Paleotip, 2006. – P. 272.
2. А.с. № 1218625 С 04 В 26/14. Polimerrastvor / V.I. Solomatov, A.P. Proshin, A.I. Schanikov, M.F. Pashevsky (USSR), application 30.11.83.
3. А.с. № 1297405 С 04 В 26/14. Polimerrastvor / A.P. Proshin, V.I. Solomatov, A.V. Presnyakov, A.V. Grigoriev (USSR), application 19.11.84.
4. Bazhenov, Y.M. Systematic attitude to development and management of building materials quality / Y.M. Bazhenov, A.M. Danilov, I.A. Garkina, Y.V. Koroliyov, Y.A. Sokolova; Ed. by Y.M. Bazhenov. – М.: Paleotip, 2006. – P. 186.

УДК 661.846

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»*
Украина, 61002, г. Харьков-2, ул. Фрунзе, 21.

Шапоров Валерий Павлович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Химическая
техника и промышленная экология»
Тел.: (057)7076651
E-mail: ipitak@rambler.ru

Питак Инна Вячеславовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Химическая техника и
промышленная экология»
E-mail: ipitak@rambler.ru

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*
Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Камбург Владимир Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Прикладная
математика и информатика»
Тел.: (841) 2496152
E-mail: kamburg@rambler.ru

*National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»*
Ukraine, 61002, Kharkiv-2, 21, Frunze St.

Shaporev Valery Pavlovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Chemical Technology and
Industrial Ecology»
Tel.: (057) 7076651
E-mail: ipitak@rambler.ru

Pitak Inna Vyacheslavovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Chemical engineering and
industrial ecology»
E-mail: ipitak@rambler.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*
Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Kamburg Vladimir Grigorievich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Applied Mathematics and
Computer Science»
Tel.: (841) 2496152
E-mail: kamburg@rambler.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ГИДРОСУСПЕНЗИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.П. Шапоров, В.Г. Камбург, И.В. Питак

Представлен теоретический анализ процесса взаимодействия оксида магния с водой с целью получения магниезальных гидросуспензий для строительной промышленности.

Ключевые слова: строительная индустрия, металлургическая промышленность, магний, вода.

THEORETICAL ANALYSIS FOR ORGANIZING THE PROCESS OF OBTAINING MAGNESIA GIDROSUSPENZY FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY

V.P. Shaporev, V.G. Kamburg, I.V. Pitak

The article presents a theoretical analysis of magnesium oxide interaction with water to obtaine magnesia gidrosuspenzy for the construction industry.

Keywords: building industry, magnesium, water.

Высокодисперсные вязкие магниезальные суспензии широко применяются в металлургической промышленности, индустрии строительных материалов и других отраслях. Суспензии готовят в результате процесса гидратации оксида магния водой. В литературе сведения об условиях приготовления магниезальных суспензий с заданными свойствами весьма ограничены, а научные исследования процесса получения магниезальных суспензий со свойствами, необходимыми для строительной индустрии,

практически отсутствуют. К получаемому продукту предъявляют высокие требования как по чистоте, так и по ряду физико-химических свойств. К последним относятся высокая дисперсность частиц в суспензии, высокая агрегативная устойчивость и низкая предрасположенность к старению, высокая адгезионная способность к металлу при нанесении суспензии на обезжиренный слой металла в виде пленки или шликерного слоя, слабая связь воды и частиц оксида магния в суспензии, что должно обеспечивать низкие температуры (<250 °С), полного обезвоживания покрытий и др.

В данной работе представлен теоретический анализ процесса взаимодействия оксида магния с водой с целью получения магниальных гидросуспензий для строительной промышленности.

1. *Теоретические расчеты и анализ процессов, проходящих на поверхности раздела MgO–вода при проведении процесса гидратации MgO.*

Представленные расчеты и анализ выполнены на основе работ [1–5].

Гидратацию MgO водой будем рассматривать как совокупность последовательных стадий, включающих процессы:

- физическую адсорбцию воды частицами оксида, которые обладают пористой структурой с тупиковыми порами;
- хемосорбцию воды на поверхности кристаллов (зерен) MgO (взаимодействие ионов жидкости с зерном MgO с образованием поверхности раздела MgO/Mg(OH)₂/H₂O);
- образование новых фаз на поверхности раздела и их отрыв (переход) в жидкую фазу;
- структурную перестройку частиц и их коагуляцию с образованием стабильных частиц Mg(OH)₂.

Учитывая высокую дисперсность оксида магния и достаточно большой избыток воды, первую и вторую стадии можно рассматривать как единый процесс. Учитывая также, что растворимость MgO в воде оценивается величиной 0,006 г/дм³, а растворимость Mg(OH)₂ – 0,009 г/дм³, считают, что при проведении процесса взаимодействия между MgO и водой необходимо рассматривать оксид и воду как равноправные партнеры и природа явлений на молекулярном и атомном уровнях будет предопределять основные свойства продуктов гидратации и сам механизм гидратации. С этой точки зрения, в работах [1–5] была проведена оценка энергии связи ионных пар и ионов при учете взаимодействия с решеткой MgO при хемосорбции H₂O по известной формуле Борна–Гейзенберга:

$$E = -4 \cdot 10^{23} \cdot \frac{e^2}{R_0} \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{1.73} - \frac{N_3}{1.41} \right), \quad (1)$$

где e – заряд электрона, R_0 – равновесные расстояния между ближайшими ионами (параметр решетки), N_1, N_2, N_3 – количество ионов, расположенных на расстоянии $R_0, 1,73 R_0$ и $1,41 R_0$.

Анализ результатов выполненных в [1–5] расчетов показал, что несколько упрощенно можно выделить следующие основные моменты:

- Если энергия адсорбции достаточна для разрыва связи ионов или ионной пары кристалла, то происходит отрыв этих ионов от поверхности и перевод в объем жидкой фазы (по сути дела реализуется растворный механизм). При недостаточной энергии может возбуждаться электронный переход между отрицательно и положительно заряженными ионами поверхностного слоя или диссоциация H₂O, вызванная растяжением связи O–H до разрыва притяжением разноименных ионов.
- Химическое взаимодействие происходит с выделением энергии. Причем в первом варианте взаимодействие протекает в объеме жидкой фазы (в растворе), а во втором – продукты реакции образуются на поверхности раздела MgO/H₂O.
- Выделение энергии в процессе гидратации является результатом первых двух стадий (адсорбции, хемосорбции) и должно происходить в начальной стадии кон-

тактирования MgO и H₂O, а не после разрушения кристаллической решетки MgO и завершения образования Mg(OH)₂.

- Перевод продукта в объем жидкой фазы или кристаллизация из раствора требует затрат энергии.

- Если оценить влияние среды растворения на количество выделенного тепла и температуру, развивающуюся в процессе гидратации, то относительно механизма образования Mg(OH)₂ можно дать более точные оценки.

При pH < 7 повышено содержание ионов H⁺ в жидкости, следовательно энергетически более выгоден переход ионов Mg²⁺ в жидкую фазу. При этом на первых двух стадиях должно выделяться наибольшее количество энергии.

При pH >>7 механизм взаимодействия на поверхности преимущественно следующей: адсорбция ионов OH⁻ на ионах Mg²⁺ и молекул H₂O на ионах O²⁻, электронные переходы от OH⁻ к Mg²⁺ с образованием Mg(OH)⁺ и от O²⁻ к H₂O при одновременном разрыве связей OH–H и образованием OH⁻ в растворе. Энергии, выделяемой при этом процессе, достаточно только для разрыва связей ионной пары Mg⁺ и O²⁻ и с учетом электронных переходов образования комплекса Mg(OH)₂ для диссоциации Mg(OH)₂ на поверхности кристалла энергии недостаточно, эта молекула отрывается и переходит целой в жидкую фазу. Жидкая фаза насыщается преимущественно ионами OH⁻ и кристаллами Mg(OH)₂.

При pH ≈ 7 взаимодействие происходит при адсорбции молекул воды, их диссоциации до ионов H⁺ и OH⁻, электронных переходов между OH⁻ и Mg²⁺, O²⁻ и H⁺, образовании на поверхности ионов Mg(OH)⁺ и OH⁻ и их отрывы в объем жидкой фазы.

Фактически при pH < 7 и при pH = 7 могут реализовываться варианты сквозь растворного механизма. При pH >> 7 должен реализовываться вариант, близкий к топохимическому. Последний вариант представляет для практики наибольший интерес, так как при реализации непрерывного процесса гидратации MgO в промышленности свежие порции MgO постоянно входят в контакт с суспензией MgO, уровень которой поддерживается в аппарате и соответственно pH среды больше 7. Это позволяет утверждать, что при промышленном получении магниальных суспензий в воде реализуется топохимический механизм.

Методы управления процессами адсорбции, хемосорбции на микроуровне ограничиваются возможностью изменения химического состава компонентов и значений их диэлектрических проницаемостей. Остановимся сначала на твердом компоненте – оксиде Mg. Известно, что MgO является диэлектриком, и единственной формой поляризации, которая наблюдается у всех диэлектриков, является процесс электронной поляризации. Он состоит в смещении электронов в атоме относительно ядер под влиянием электронного поля. При этом диэлектрическая проницаемость пропорциональна величине электронной поляризуемости вещества и плотности.

Истинная плотность MgO при изменении температуры синтеза от 500 до 1400 °C изменяется незначительно – от 3,31 до 3,44 г/дм³ и не может оказать существенного влияния на ε₂. Таким образом, единственным существенным фактором повышения ε₂ является увеличение величины электронной поляризуемости (α). Известно, что различные дефекты кристалла вносят существенный вклад в эту величину. Например, дефекты упаковки и дислокации по оси C могут удлинять решетку MgO на 1 % и одновременно сужать вдоль других осей на 0,5 %. Точечные дефекты приводят не только к смещению подрешеток на 0,1 Å, но и к изменению электронного строения поверхности кристалла. Указанные явления достаточны для возникновения больших значений объемной поляризации. Другой возможностью изменения электронного состояния поверхности кристалла является введение добавок в структуру MgO, однако эти добавки должны уменьшать работу выхода электрона, т.е. повысить уровень Ферми. Известно, что ионы тяжелых металлов Mn, Fe, Al, Si и т.д. наоборот понижают уровень Ферми. Отрицательное влияние при синтезе MgO на величину кристаллов MgO оказывают хлориды, сульфаты, силикаты, положительное влияние – оксиды бора, хрома. Таким образом, с нашей точки зрения, наиболее доступный и эффективный способ регулирования свойств MgO – это регулирование концентрации дефектов

в структуре оксида, меняя режимы обжига исходного сырья, и введение добавок оксидов бора и хрома.

Что же касается жидкой фазы (воды), то введение различных ионов в структуру воды может как изменять диэлектрическую постоянную вблизи иона, так и приводить к разрушению структуры и диссоциацию воды на ионы. Деструктурирующее действие электролитов возрастает с радиусом иона и может быть оценено по величине числа первичной гидратации: катионы водорода ~ 3 , лития ~ 4 , натрия ~ 4 , калия ~ 5 , рубидия ~ 3 , магния ~ 13 , кальция ~ 8 , бария ~ 10 , железа (II) ~ 11 , меди ~ 12 , алюминия $21 \sim 31$, анионы фтора ~ 3 , хлора ~ 4 , брома ~ 1 , серы ~ 8 . Известно, что чем выше число гидратации, тем более деструктурирована вода, однако в силу технологических нужд в процессе гидратации MgO используется обессоленная вода.

Таким образом, вышеприведенный анализ показывает, что при проведении процесса гидратации оксида магния основными параметрами, влияющими на химический состав, структуру и величину частиц продуктов гидратации, являются активность оксида магния (дефективность структуры) и наличие в исходной структуре MgO добавок, повышающих уровень Ферми. Изменение диэлектрической проницаемости воды за счет ввода в нее электролитов может оказывать существенное влияние в том числе и на величину pH, однако в силу технологических причин в процессе гидратации MgO используется обессоленная вода, поэтому в данном сообщении этот вопрос подробно не рассматривается.

2. Феноменологический характер описания процессов коагуляции и структурирования частиц Mg(OH)₂

В результате реализации того или иного механизма гидратации MgO получаемый продукт представляет собой систему, состоящую из мельчайших частиц Mg(OH)₂, диспергированных в водной среде (с большим $\epsilon_1=80$). После коагуляции и структурирования частиц осветление таких суспензий вначале подчиняется закону Стокса, а затем происходит уплотнение твердой фазы (осадка), что несколько замедляет скорость осветления или замедляет её до малозаметной величины.

Таким образом, устойчивость получаемой суспензии, очевидно, будет определяться структурой и величиной частиц Mg(OH)₂. Рассмотрим особенности механизма коагуляции твердых частиц в исследуемой системе. В основу анализа положим принцип размерной зависимости энергии Ферми (E_F). Это означает, что специфика свойств малых частиц Mg(OH)₂ обусловлена, прежде всего, тем, что их энергия E_F зависит от размеров частиц. Однако из самых видимых проявлений размерной зависимости E_F для рассматриваемого случая является существование специфических сил взаимодействия между малыми частицами – сил взаимного заряжения.

В исследуемом ансамбле частиц Mg(OH)₂ (имеется в виду до коагуляции) неизбежно существует разброс по размерам, так что фермиевские энергии частиц, в принципе идентичных по химическому составу, отличны друг от друга. Чтобы энергия системы была минимальной электроны из частиц с большим значением E_F должны перейти в частицы с меньшими значениями E_F . При этом обе частицы заряжаются – частица с меньшим E_F – отрицательно, частица с большим E_F – положительно. Но коль скоро эти частицы получили разноименные заряды, ясно, что они должны начать притягиваться друг к другу. Несмотря на то, что силы, действующие между частицами, несомненно, электростатического происхождения, они существенно отличаются от обычных кулоновских сил. Отметим несколько отличительных особенностей. Во-первых, если рассмотреть только две частицы, то заряд q каждой из них растет с уменьшением расстояния между ними r_{12} , т.е. сила взаимодействия между частицами зависит от расстояния между ними иначе, чем кулоновская. Во-вторых, если частиц не две, а много, то силы взаимного заряжения не аддитивны – они носят кооперативный характер. Это надо понимать так, что в ансамбле, состоящем из многих частиц, заряд каждой из них зависит от радиусов и положений всех остальных частиц, поскольку

каждая из частиц обменивается электронами со всеми остальными. Наконец, поскольку разность потенциалов между частицами E_{12} не зависит от диэлектрической проницаемости среды ϵ_1 , а при больших r_{12} потенциал каждой частицы равен $\frac{q}{\epsilon R}$, заряд на частице пропорционален ϵ_1 и, следовательно, сила взаимодействия между частицами тоже пропорциональна ϵ_1 . Это также отличает силы взаимного заряжения от обычных кулоновских сил, которые обратно пропорциональны величине ϵ_1 . В начальный момент радиусы частиц в исследуемой системе имеют размеры близкие к 600...800 Å (~0,5 мкм). Радиусы частиц отличаются друг от друга на несколько десятков процентов, так что разность $E_{F1} - E_{F2}$ составляет порядка 0,1 эв (~10 кДж/моль). Тогда при $r_{12} \rightarrow \infty$ в вакууме ($\epsilon = 1$) число перемещенных электронов составляет около 2, а в воде ($\epsilon = 80$) уже 160, т.е. заряд частиц весьма значителен. Естественно, взаимное заряжение частиц способствует их тенденции к коагуляции, когда они взвешены в жидкости. Обычно это явление рассматривается как результат броуновского движения частиц в среде, внутри которой они находятся: частицы сталкиваются друг с другом и слипаются из-за сил взаимного заряжения. Этот процесс может быть ускорен на порядок и более, поэтому в нашем случае нужно подавить действие сил взаимного заряжения. С одной стороны, этого можно достичь, уменьшив разброс в размерах первичных частиц, создавая определенные размеры перемешивания на стадии затворения, с другой, – можно сделать жидкость высокопроводящей, т.е. ввести добавку, чтобы ее катионы и анионы экранировали поля заряженных частиц и ослабили электростатическое взаимодействие между ними. Обратим внимание еще на одну особенность влияния сил заряжения частиц, для этого рассмотрим еще одну возможность замедления процесса коагуляции частиц.

Проанализируем влияние заряда частиц на ее деформацию. На первый взгляд, заряженная частица обязательно должна растягиваться, так как одноименные заряды стремятся оттолкнуться друг от друга. Однако возможны случаи, когда заряженные частицы, как это ни парадоксально, сжимаются. Уже отмечали, что количество заряда, перешедшее с частицы на частицу пропорционально разности $\Delta E_F = E_{F1} - E_{F2}$. До сих пор игнорировался тот факт, что при деформации частиц кинетическая энергия электронов в ней, определяемая E_{F1} , изменяется. Следовательно, и изменяется величина ΔE_F . Допустима ситуация, когда ΔE_F увеличивается при сжатии, по крайней мере, одной частицы. При этом возрастает электростатическая энергия системы, поскольку при перемещении частиц заряды сближаются. Но вызванный этим проигрыш в энергии компенсируется выигрышем, который система получает из-за понижения кинетической энергии электронов. Деформация частицы (ее сжатие) тем больше, чем меньше ее размер с одной стороны, с другой перемещенный заряд пропорционален диэлектрической проницаемости среды ϵ_1 . Поэтому в среде с большим ϵ_1 деформация частиц может быть гораздо больше. Например, в воде (при ненарушенной структуре) и вышеприведенных условиях отрицательное давление (давление сжатия) достигает сотен тысяч атмосфер. Ясно, что такие гигантские давления разорвут частицу, в результате разрыва образуются частицы еще меньшего радиуса. Процесс будет идти до тех пор, пока частицы не станут нейтральными. С этой точки зрения процесс гидратации чистой водой (без электролитов) более выгоден для получения стабильной суспензии частиц $Mg(OH)_2$, что наблюдается на практике.

По-видимому, реализация топохимического механизма гидратации MgO с использованием обессоленной воды более целесообразна с точки зрения замедления процессов коагуляции и структурирования продуктов гидратации, что позволит получить дефектную структуру продуктов гидратации и повысить устойчивость магниевой суспензии.

Список литературы

1. Шаповрев, В.П. Разработка получения активной окиси магния [Текст]: дис. ... канд. техн. наук по спец. 05. 340 / В.П. Шаповрев. – Пермь, 1975. – 155 с.
2. Шаповрев, В.П. Технология армирующих наполнителей [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук по спец. 05.17.01 / В.П. Шаповрев. – Харьков, 1995. – 320 с.
3. Камбург, В.Г. Некоторые вопросы термодинамического анализа бинарных систем из данных о давлении насыщенного пара [Текст]: дис. ... канд. хим. наук по спец. 02.00.04 / В.Г. Камбург // Ин-т электрохимии УФ АН СССР. – Свердловск, 1979. – 124 с.
4. Ткач, Г.А. Производство соды по малоотходной технологии [Текст] / Г.А. Ткач, В.П. Шаповрев, В.М. Титов. – Харьков: ХГПИ, 1988. – 430 с.
5. Шаповрев, В.П. Приближенное решение уравнения коагуляции с некоторыми модельными ядрами [Текст] / В.П. Шаповрев, М.Д. Когут // Экология химич. техники и биотехнологии: сб. науч. труд. каф. ХТПЭ, ХГПУ. – Т.2. Экология и ресурсосбережение. – Харьков, 1997. – С. 73–77.

References

1. Shaporev V.P. Development of active magnesium oxide production / Dissertation. on soisk. uch. step. PhD in specials. 05. 340. Perm, 1975. – 155 p.
2. Shaporev V.P. Technology of reinforcing fillers / Dissertation. on soisk. uch. step. Doctor of Engineering on the specials. 05.17.01. – Kharkov, 1995. – 320 p.
3. Kamburg V.G. Some questions of thermodynamic analysis of binary systems from the data on saturated vapor pressure // Dissertation. on soisk. uch. step. k.h.n on spec. 02.00.04. – Institute of Electrochemistry, UV. – USSR, Sverdlovsk, 1979. – 124 p.
4. Weaver G.A., Shaporev V.P., Titov V.M. Production of soda according to low-waste technology. – Kharkov, KSPI-1988. – 430 p.
5. Shaporev V.P., Kogut M.D. Approximate solution of coagulation model with some kernels. Ecology of Chemical. Technology and biotechnology. Sat Scient. work. Department. НТРЕ, КСПУ, m 2. Ecology & Resource. – Kharkov, 1997. – P.73–77.

УДК [691.327:666.97-136]:666.9.022.2

*Московский государственный
строительный университет*Россия, 129337, г. Москва,
Ярославское шоссе, д. 26,
тел./факс: +7 (495) 781-80-07**Королев Евгений Валерьевич,**
доктор технических наук, профессор,
директор НОЦ НТ*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77**Тарасов Роман Викторович,**
кандидат технических наук, доцент,
декан технологического факультета
E-mail: rwtarasow@rambler.ru**Сомкин Андрей Сергеевич,**
аспирант кафедры «Строительные
материалы»*Moscow State University of Civil Engineering*Russia, 129337, Moscow, 26,
Yaroslavskoe shosse,
tel./fax: +7 (495) 781-80-07**Korolev Evgeniy Valeryevich,**
Doctor of Sciences, Professor,
director of the SEC «Nanotechnology»*Penza State University of Architecture
and Construction*Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77**Tarasov Roman Viktorovich,**
Candidate of Sciences, Associate Professor
dean of the faculty of technology
E-mail: rwtarasow@rambler.ru**Somkin Andrey Sergeevich,**
Postgraduate of the department «Building
materials»

ВЫБОР ШЛАКА ДЛЯ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ШЛАКОЩЕЛОЧНОМ ВЯЖУЩЕМ*

Е.В. Королев, Р.В. Тарасов, А.С. Сомкин

Доказана возможность разработки радиационно-защитных строительных материалов на основе ферроборового шлака. Установлено, что замена воды на стабилизированный золь железа позволяет значительно повысить значения механических свойств композитов.

Ключевые слова: радиационно-защитные композиты, ферроборовый шлак, шлакощелочное вяжущее, стабилизированный золь железа.

A CHOICE OF SLAG FOR RADIATION-PROTECTIVE COMPOSITES ON SLAG ALKALINE BINDER

E.V. Korolev, R.V. Tarasov, A.S. Somkin

The authors have proved the possibility to develop radiation-protective building materials on the basis of iron and boron slag. It is established that replacement of water by stabilized iron sol can significantly increase the values of composites mechanical properties.

Keywords radiation-protective composites, slag based on iron and boron, slag knitting, activated by alkali, stable sol gland.

Как известно, материалы, эксплуатирующиеся в условиях воздействия радиации, по функциональному назначению классифицируют на радиационно-защитные и радиационно-стойкие. Эффективность таких материалов определяется их строением, структурой и химическим составом. Радиационно-защитные материалы должны состоять из плотноупакованных кристаллических веществ с ненаправленным характером

* Печатается при поддержке государственного контракта № 14.740.11.0987 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы».

химической связи, а радиационно-стойкие – из «рыхлых» кристаллов с точечными дефектами внедрения или замещения [1...3].

Химический состав радиационно-защитных материалов определяется видом ионизирующего излучения. Гамма-излучение активно поглощают химические элементы с большой атомной массой (свинец, барий, железо, уран, торий и др.), а поток нейтронов – элементы со средней и малой атомной массами (водород, бор, углерод, алюминий и др.). Отсюда очевидно, что химический состав радиационно-защитного материала, эффективно поглощающего гамма-нейтронное излучение (часто встречаемое на практике), должен содержать элементы разной атомной массы [2, 4].

Требования к радиационно-защитным бетонам сформулированы в работе [5], а принципы их проектирования – в [6]. Очевидно, что рациональной траекторией разработки материалов с требуемым химическим составом является создание композиционных материалов. Однако композитная структура имеет недостатки (особенно при использовании грубозернистых дисперсных фаз), возникающие вследствие наличия границы раздела фаз, которые имеют различные физические свойства. Изменение дисперсности позволяет решить некоторые из возникающих проблем.

В зависимости от области применения для изготовления радиационно-защитных материалов используют минеральные, органические вяжущие вещества или их композиции. Определенные перспективы имеют композиты на основе шлакощелочных вяжущих, особенности структурообразования и эксплуатационные свойства которых подробно изучены научными школами В.Д. Глуховского, В.И. Калашникова, Р.З. Рахимова и др. Перспективность таких вяжущих для радиационно-защитных композитов объясняется обеспечением требуемого химического состава композита посредством подбора шлака(ов) и регулированием размеров его частиц. Химический состав определяет также эксплуатационные свойства шлакощелочных и минерально-шлаковых строительных материалов. Для оценки пригодности шлака для изготовления таких материалов предложено несколько критериев:

- коэффициент качества (для оценки гидравлических свойств) по методике [7]

$$K_k = \frac{CaO + Al_2O_3 + 10}{SiO_2 + (MgO - 10)}$$

или

- по методике [8]

$$K_k = \frac{CaO + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + \frac{1}{2}FeO}{SiO_2 + \frac{1}{2}FeO};$$

- модуль кислотности [9]

$$M_k = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO};$$

- модуль основности

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3};$$

- модуль активности

$$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2}.$$

Расчёты, проведённые по химическому составу ферроборового шлака (табл. 1), показывают, что значения коэффициента качества, модуля кислотности, модуля активности и модуля основности соответственно равны 18,58 (по методике [7]) или 45,89 (по методике [8]), 2,56; 32,04 и 0,39. При этом содержание бора в 1,3...2,7 раз больше количества, рекомендуемого Т. Егером [10], что подтверждает целесообразность

использования ферроборового шлака для изготовления шлакощелочных композитов для защиты от смешанного гамма-нейтронного излучения (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Химический состав ферроборового шлака

Al ₂ O ₃	CaO	MgO	B ₂ O ₃	SiO ₂	FeO
66,65	14,0	12,80	4,34	2,08	2,0

Т а б л и ц а 2

Содержание основных элементов ферроборового шлака (в кг/м³)

Элемент	Объёмная доля шлака				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
B	20,1	24,1	28,1	32,2	36,2
Al	525,6	630,7	735,8	840,9	946,0
Ca	149,1	178,9	208,7	238,5	268,4
Mg	115,0	138,0	161,0	184,0	207,0

Традиционно для изготовления изделий из шлакощелочных композитов применяются интенсивные способы уплотнения смесей (прессование, вибропрессование и др.). Основными факторами, влияющими на свойства таких материалов, являются водо-твёрдое отношение, концентрация щелочи, давление прессования и др. Анализ закономерностей влияния указанных факторов на физико-механические свойства шлакощелочного вяжущего на ферроборовом шлаке, представленных экспериментально-статистическими моделями вида

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3, \quad (1)$$

(где b_i – эмпирические коэффициенты (табл. 3); X_1 – водо-твёрдое отношение (0,1...0,24); X_2 – нагрузка (1...12 т-с); X_3 – концентрация NaOH (0,8...4,2 % от массы шлака), доказывает, что показатели свойств материала существенно зависят от водо-твёрдого отношения, особенно в более поздние сроки твердения. Давление прессования и содержание щёлочи значимого влияния на эксплуатационные свойства не оказывают.

Т а б л и ц а 3

Значения эмпирических коэффициентов

Продолжительность твердения, сут	Значения коэффициентов модели (1)						
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}
Средняя плотность							
7	2113,5	-7,64	-	-	-	-	-
14	2163,6	-48,13	-	-	-	-	58,79
21	2173,6	-65,24	-	-	-	-	64,95
Предел прочности при изгибе							
7	5,68	-	-	-	-	-	-
14	6,5	-	-	-	-	-	-
21	7,29	-1,28	-1,15	-	-	-	-
Предел прочности при сжатии							
7	30,99	-7,33	-	7,35	-	-	-
14	35,0	-6,58	-	4,52	-	4,34	-
21	37,03	-7,12	-	-	-5,16	-	-

Таким образом, предварительные исследования подтвердили целесообразность использования ферроборового шлака для разработки строительных материалов, обладающих высокими показателями физико-механических свойств. Однако в технологии радиационно-защитных материалов приоритетными являются составы, характеризующиеся высокой подвижностью и обеспечивающие изготовление защитных конструкций сложной конфигурации. Кроме того, высокое давление прессования может привести к возникновению существенных деформаций с возможным последующим разрушением заполнителя. В связи с этим при изготовлении композиционных материалов на шлакощелочном вяжущем необходимо придерживаться высокого водо-твёрдого соотношения.

Важное влияние на свойства строительных композитов на основе вяжущих гидратационного твердения оказывает химический состав воды затворения. Аналогичное влияние вода затворения оказывает на свойства шлакощелочных вяжущих на основе ферроборового шлака (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Влияние химического состава воды затворения на прочность шлакощелочного вяжущего (количество щелочи – 3,5 % от массы шлака)

Среда	Водо-твёрдое отношение			
	0,3	0,35	0,4	0,45
Вода	$\frac{6,1}{16,5}$	$\frac{6,4}{21,3}$	$\frac{5,9}{20,4}$	$\frac{5,6}{16,3}$
Золь гидроксида железа (III)	–	–	$\frac{8,9}{39,5}$	$\frac{8,5}{33,5}$
Омагниченный золь гидроксида железа (III)*	–	–	$\frac{8,3}{21,4}$	$\frac{7,5}{18,1}$

П р и м е ч а н и я : * – получен пропусканьем со скоростью 0,55 м/с приготовленного золя через магнитное поле с напряжённостью 80 кА/м; в числителе – предел прочности при изгибе (МПа), в знаменателе – предел прочности при сжатии (МПа) в возрасте 28 сут.; удельная поверхность шлака – 425 м²/кг.

Сопоставление экспериментальных данных (см. табл. 4) показывает, что при использовании золя гидроксида железа (III) предел прочности при изгибе увеличивается:

- при содержании щелочи 3 % и В/Т=0,4 на 56,1 %;
- при содержании щелочи 3,5 % и В/Т=0,4 на 50,8 %.

Такое же увеличение и для предела прочности при сжатии:

- при содержании щелочи 3 % и В/Т=0,4 на 125,0 %;
- при содержании щелочи 3,5 % и В/Т=0,4 на 49,5 %.

Прочность шлакощелочных материалов от В/Т и концентрации щелочного активатора изменяется закономерно: зависимость прочности от В/Т имеет экстремальный характер, а от концентрации NaOH – наблюдается незначительное увеличение прочности. Магнитная обработка золя гидроксида железа (III) отрицательно влияет на механические свойства: пределы прочности при сжатии и изгибе уменьшаются на 35 %. Влияние оказывает также процедура введения модификаторов (табл. 5 и 6).

Наблюдения за состоянием золя гидроксида железа (III) при введении NaOH показали, что золь разрушается. Для его стабилизации при введении щелочи использовали желатин, который, дополнительно омыляясь, предположительно будет оказывать пластифицирующее действие на смесь (табл. 7).

Способы совмещения компонентов

Способ совмещения компонентов	Описание способа
Способ №1	В золь гидроксида железа (III) вводили отдозированное количество NaOH, перемешивали до полного растворения щелочи. Затем добавляли отдозированное количество сухого СП С-3 и тщательно перемешивали
Способ №2	В золь гидроксида железа (III) вводили отдозированное количество сухого СП С-3, перемешивали до полного растворения суперпластификатора. Затем добавляли отдозированное количество NaOH и тщательно перемешивали

Т а б л и ц а 6

Влияние процедурного фактора на свойства шлакощелочных материалов

Свойства	Способ	
	I	II
Диаметр расплава, мм	68	64
Средняя плотность, кг/м ³	1899	1888
Предел прочности при сжатии, МПа	32,9	29,8
Предел прочности при изгибе, МПа	9,3	9,0

Т а б л и ц а 7

Влияние концентрации желатина на свойства шлакощелочных материалов

Свойства	Концентрация желатина, %	
	0,5	1,0
Диаметр расплава, мм	72	76
Средняя плотность, кг/м ³	1883	1890
Предел прочности при сжатии, МПа	41,5	43,1
Предел прочности при изгибе, МПа	8,5	9,0

Таким образом, установлено, что на основе ферроборового шлака можно разработать строительные материалы, обладающие высокими показателями физико-механических свойств. Полученные закономерности влияния содержания щелочи, водо-твёрдого отношения и химического состава жидкой фазы на механические свойства исследуемого материала доказывают, что прочность материалов на основе ферроборового шлака может быть повышена на 50...60 % путём замены воды на стабилизированный золь гидроксида железа (III).

Список литературы

1. Дубровский, В.Б. Строительство атомных электростанций [Текст] / В.Б. Дубровский, П.А. Лавданский, И.А. Енговатов. – М.: Изд-во «АСВ», 2010. – 368 с.
2. Гегузин, Я.Е. Живой кристалл [Текст] / Я.Е. Гегузин. – М.: Наука, 1987. – 192 с.
3. Королёв, Е.В. Радиационно-защитные и химически стойкие серные строительные материалы [Текст] / Е.В. Королёв, Ю.М. Баженов, А.И. Альбакасов. – Пенза, Оренбург: ИПК ОГУ, 2010. – 364 с.
4. Будников, П.П. Новая керамика [Текст] / П.П. Будников [и др.]. – М.: Стройиздат, 1969. – 310 с.
5. Комаровский, А.Н. Защитные свойства строительных материалов [Текст] / А.Н. Комаровский. – М.: Атомиздат, 1971. – 238 с.

6. Королев, Е.В. Основные принципы создания радиационно-защитных материалов. Определение эффективного химического состава [Текст] / Е.В. Королев, А.Н. Гришина // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2009. – №1(11) – С.261–265.
7. ГОСТ 3476–74. Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов [Текст]. – Введ. 1975-01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 4 с.
8. Глуховский, В.Д. Производство бетонов и конструкций на основе шлакощелочных вяжущих [Текст] / В.Д. Глуховский [и др.]. – Киев: Будівельник, 1988. – 144 с.
9. ГОСТ 18866–93. Щебень из доменного шлака для производства минеральной ваты [Текст]. – Введ. 1995-01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 8 с.
10. Егер, Т. Бетоны в технике защиты от излучений [Текст] / Т. Егер. – М.: Атомиздат, 1960. – 84 с.

References

1. Dubrovsky, V.B. Construction of nuclear power plants [Text] / V.B. Dubrovsky, P.A. Lavdansky, I.A. Engovatov. – М.: Izdatel'stvo ASV, 2010. – 368 p.
2. Geguzin, Y.E. Living Crystal [Text] / Y.E. Geguzin. – М.: Nauka, 1987. – 192 p.
3. Korolev, E.V. Radiation-protective and chemical-resistant sulfur construction materials [Text] / E.V. Korolev, Yu.M. Bazhenov, A.I. Albaka-owls. – Penza, Orenburg: IIP at OSU, 2010. – 364.
4. Budnik, P.P. New Ceramics [Text] / P.P. Budnikov [and others]. – М.: Stroyizdat, 1969. – 310.
5. Komorowski, A.N. The protective properties of building materials [Text] / A.N. Komorowski. – М.: Atomizdat, 1971. – 238 p.
6. Korolev, E.V. Basic principles of radiation shielding materials. Determining the effective chemical composition [Text] / E.V. Korolev, A.N. Grishina // Proceedings of the Kazan State architectures-but-building university. – 2009. – № 1 (11). – P.261–265.
7. GOST 3476–74. Blast-furnace slag and electrothermophosphoric granular cement production [Text]. – Intr. 01/01/1975. – М.: Publishing House of Standards, 1975. – 4 p.
8. Hlukhouski, V.D. Production of concrete and structures on the basis of slag alkaline binding [Text] / V.D. Glukhovsky [and others]. – Kiev: Budivel'nik, 1988. – 144 p.
9. GOST 18866–93. Rubble from the blast furnace slag for the production of mineral wool [Text]. – Intr. 01/01/1995. – М.: Publishing House of Standards, 1995. – 8 p.
10. Jaeger, T. Concrete in radiation protective technology [Text] / T. Jaeger. – М.: Atomizdat, 1960. – 84 p.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Макридин Николай Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология бетонов, керамики и вяжущих»

Максимова Ирина Николаевна, кандидат технических наук, профессор кафедры «Стандартизация, сертификация и аудит качества»
E-mail: maksimovain@mail.ru

Овсюкова Юлия Владимировна, аспирант кафедры «Технология бетонов, керамики и вяжущих»

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Makridin Nikolay Ivanovich, Doctor of Sciences, Professor of the department «Concrete, Ceramics and Binding technology»

Maksimova Irina Nikolaevna, Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Standartization, certification, quality audit»
E-mail: maksimovain@mail.ru

Ovsucova Yulia Vladimirovna, Postgraduate of the department «Concrete, Ceramics and Binding technology»

ИЗМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ВО ВРЕМЕНИ

Н.И. Макридин, И.Н. Максимова, Ю.В. Овсюкова

Изучена конструкционная прочность цементного камня во времени в зависимости от концентрации и процедуры введения суперпластификатора С-3.

Ключевые слова: конструкционная прочность, цементный камень, концентрация суперпластификатора, процедура введения, фактор времени.

CHANGE IN TIME OF CEMENT STONE MODIFIED STRUCTURE CONSTRUCTION DURABILITY

N.I. Makridin, I.N. Maksimova, Y.V. Ovsucova

They have learnt cement stone construction durability in time depending on superplasticizer C-3 concentration and method of its introduction.

Keywords: construction durability, cement stone, superplasticizer, concentration, method of introduction, time factor.

Оценка долговременной прочности цементной дисперсной системы по своей практической значимости остается в центре внимания как отечественных, так и зарубежных исследователей. Однако в публикациях по этому вопросу в основном рассматриваются ранние стадии процессов гидратационного структурообразования, что же касается поздних стадий, то, как отмечено в работе [1], существует давно сложившееся мнение, что регулирование свойств цементного камня в этот период практически невозможно, хотя в этом имеется необходимость. По мнению автора работы [2], кинетика упрочнения цементного камня во времени описывается не плавной экспоненциальной кривой, а функцией, претерпевающей периодические разрывы. Согласно Сычеву М.М. [3], одной из многих причин «пилообразного» характера изменения прочности «зрелого» бетона во времени является гидролиз связей $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$, на долю которых приходится до 50–60 % прочности цементного камня. В работе [4] отмечается, что фактор времени вызывает в бетоне проявление двух характерных разнонаправленных процессов: процесса нарастания прочности во времени (процесс старения

бетона), определяемого физико-химическими изменениями его структуры, и процесса снижения прочности находящегося в напряженном состоянии бетона, связанного с проявлением его реологических свойств – ростом деформаций во времени, приводящим к определенным нарушениям внутренних связей в материале на микро- и макроуровнях. Проблема нарастания и регулирования длительной прочности приобретает особый интерес в современных условиях поиска путей получения и использования в строительстве бетонов нового поколения, в том числе высокофункциональных, с очень высокими показателями прочности, однородности и низкой пористости, в основу получения которых положена новая концепция бетоноведения – получение высокоподвижной матричной фазы бетонной смеси с низким водосодержанием благодаря комплексному использованию химических и минеральных добавок, обладающих высокой реологической эффективностью.

Цель статьи – обратить внимание на влияние процедурных и концентрационных аспектов введения суперпластификатора (СП) С-3 в цементно-водную суспензию на формирование длительной прочности цементного камня и показать возможность регулирования его макросвойств на поздних стадиях гидратации цемента.

Для исследования фазового состава новообразований и прочности цементного камня был использован бездобавочный сульфатостойкий портландцемент вольского завода марки 400 с нормальной густотой, равной 24 %. На основе этого цемента было изготовлено 15 серий образцов, составы которых и процедура введения СП С-3 приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Серия образцов	В/Ц	СП С-3, % по массе	Процедура приготовления цементной пасты
1	0,24	–	Ц+0,12Н ₂ О+0,12Н ₂ О
2	0,24	1,0	Ц+(0,12Н ₂ О+0,5СП)+(0,12Н ₂ О+0,5СП)
3	0,24	0,5	Ц+(0,12Н ₂ О+0,25СП)+(0,12Н ₂ О+0,25СП)
4	0,24	0,5	Ц+0,12Н ₂ О+(0,12Н ₂ О+0,5СП)
5	0,24	0,25	Ц+(0,12Н ₂ О+0,125СП)+(0,12Н ₂ О+0,125СП)
6	0,24	0,25	Ц+0,12Н ₂ О+(0,12Н ₂ О+0,25СП)
7	0,27	–	Ц+0,135Н ₂ О+0,135Н ₂ О
8	0,27	1,0	Ц+(0,135Н ₂ О+0,5СП)+(0,135Н ₂ О+0,5СП)
9	0,27	0,5	Ц+(0,135Н ₂ О+0,25СП)+(0,135Н ₂ О+0,25СП)
10	0,27	0,5	Ц+0,135Н ₂ О+(0,135Н ₂ О+0,5СП)
11	0,27	0,25	Ц+(0,135Н ₂ О+0,125СП)+(0,135Н ₂ О+0,125СП)
12	0,27	0,25	Ц+0,135Н ₂ О+(0,135Н ₂ О+0,25СП)
13	0,27	0,25	Ц+(0,135Н ₂ О+0,25СП)+0,135Н ₂ О
14	0,20	1,0	Ц+0,1Н ₂ О+(0,1Н ₂ О+1,0СП)
15	0,18	1,0	Ц+0,09Н ₂ О+(0,09Н ₂ О+1,0СП)

Отформованные образцы подвергали ТВО по режиму: 17 + 2 + 8 + 3 (часов) при температуре изотермии 85...90 °С. После ТВО и распалубки все образцы взвешивали с целью контроля изменения их массы и плотности во времени в результате влагообмена с окружающей средой. Затем образцы находились в естественных лабораторных условиях, где в зависимости от сезона температура и относительная влажность изменялись соответственно в диапазоне 8...24 °С и 56...90 %.

Кинетику изменения физико-механических свойств цементного камня на образцах серий 1–6 наблюдали в течение 18 лет, а на образцах серий 7...15 – 9,5 лет. При этом следует отметить, что оценку контролируемых параметров во все сроки испытаний проводили в лаборатории при температуре 21–22 °С и относительной влажности 58–60 %.

В табл. 2 приведены значения расхода цемента, воды, суперпластификатора и коэффициента уплотнения, полученные по уплотненной цементной пасте после фор-

мования опытных образцов. Более однородное распределение диспергированного цемента в составе 2 при дозировке 1 % СП от массы цемента способствовало получению лучшего значения коэффициента уплотнения рассматриваемой серии образцов. Дозировка же СП в количестве 0,5 и 0,25 % не оказывала заметного влияния на коэффициент уплотнения.

Т а б л и ц а 2

Расход компонентов на 1 м ³ цементной пасты	Серия образцов					
	1	2	3	4	5	6
Цемент, кг	1746	1758	1732	1708	1736	1719
Вода, л	419	422	416	410	417	413
СП С-3, кг	-	17,0	8,6	8,5	4,3	4,2
В/Ц	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Коэффициент уплотнения, K_y	0,977	0,984	0,970	0,960	0,972	0,963

В табл. 3 приведены численные значения изменения плотности и пористости цементного камня в контрольные сроки в результате естественного влагообмена с окружающей средой и высушивания опытных образцов до постоянной массы при температуре 105 °С, а также степень его гидратации в возрасте 18 лет, которую определяли расчетным путем по неиспаряющейся, то есть химически связанной, воде с учетом того, что количество неиспаряющейся воды в полностью гидратированном цементе составляет 23 % массы цемента.

Т а б л и ц а 3

Серия образцов	Плотность и пористость цементного камня соответственно, кг/м ³ и %					Степень гидратации цемента, %
	После ТВО	28 сут	420 сут	18 лет	после сушки при 105 °С	
1	2165	2081 / 8,4	2090 / 7,5	2081 / 8,4	1978 / 18,7	57,8
2	2197	2091 / 10,6	2120 / 7,7	2052 / 14,5	1954 / 24,3	44,3
3	2156	2110 / 4,6	2100 / 5,6	1991 / 16,5	1887 / 26,9	36,9
4	2126	2093 / 3,3	2091 / 3,5	1990 / 13,5	1882 / 24,4	42,2
5	2157	2120 / 3,7	2120 / 3,7	1990 / 16,7	1888 / 26,9	37,1
6	2136	2091 / 4,5	2081 / 5,5	1958 / 17,8	1857 / 27,9	33,9

П р и м е ч а н и е : перед чертой – плотность, после черты – пористость.

Из анализа экспериментальных данных, приведенных в табл. 3, следует отметить, что в первые 28 сут после ТВО большую потерю влаги, 10,6 % по объему, показали образцы 2-й серии, то есть цементный камень с дозировкой 1 % СП С-3. Вероятно, этот результат можно объяснить тем, что при адсорбции и возникновении двойного электрического слоя (ДЭС) в дисперсной системе СП С-3 отжимает определенное количество воды во внешнюю диффузную часть ДЭС, ослабляя тем самым ее связь с поверхностью частиц цемента. При меньших дозировках СП С-3 напротив наблюдается меньшая потеря влаги.

В возрасте цементного камня 420 сут на образцах серий 1 и 2 зафиксировали небольшое поглощение воды из окружающей среды, тогда как в образцах серий 3; 4 и 6 наблюдали незначительную потерю влаги, что, вероятно, обусловлено спецификой влияния СП С-3 на формирование порового пространства этих образцов. Однако в возрасте 18 лет кинетика потери влаги из образцов с дозировкой СП С-3 стала значительно превышать показания контрольного состава. В результате возникающая пористость от испарившейся воды на образцах, приготовленных с использованием СП С-3, стала превышать аналогичную характеристику контрольного состава на 60–112 %. Дальнейшее высушивание опытных образцов до постоянной массы при температуре 105 °С дало увеличение их пористости примерно на 10 % практически на всех сериях образцов. Вместе с тем следует отметить, что образцы серий 2–6, приготовленные с использованием СП С-3, показали относительно контрольного состава 1

большую суммарную пористость от испарившейся влаги на 30–49 % в данных условиях опыта.

Из анализа значений степени гидратации цемента следует отметить, что водоцементное отношение, равное 0,24, не может обеспечить 100 %-ю полную гидратацию цемента. Использование СП снижает степень гидратации цемента, несмотря на то что СП способствует диспергированию цемента и увеличению площади поверхности его зерен. В этой связи можно заметить – ничто не должно мешать гидратации цемента.

Для оценки фазового состава новообразований цементного камня на опытных образцах получали ионизационные рентгенограммы на дифрактометре ДРОН-2 в интервале брегговских углов $\theta = 2...35^\circ$ с медным анодом и никелевым фильтром.

На образцах серии 1–6 получали рентгенограммы в возрасте цементного камня 420 сут, а на образцах серий 7...15 – в возрасте 4,5 лет. Так как в твердеющей цементной пасте осуществляется одновременная кристаллизация нескольких фаз из твердого раствора внедрения, то происходит смещение линий и наложение линий одной фазы на линии других фаз. Поэтому идентификация фаз проводилась на основе отдельных наиболее характерных для каждой фазы линий.

На полученных ионизационных рентгенограммах образцов всех серий линии размытые, малоинтенсивные вследствие наложения линий разных фаз друг на друга, слабой закристаллизованности образовавшихся фаз и блочной структуры фаз. Это позволяет считать, что кристаллические решетки образовавшихся фаз находятся в неравновесном напряженном состоянии.

Анализ рентгенограмм образцов цементного камня после 4,5 лет твердения показывает, что в фазовом составе образцов, которые приготовлены с использованием СП С-3, присутствует известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$. На ионизационных рентгенограммах обнаружены линии 4,90 Å; 3,10 Å; 2,62 Å; 1,79 Å, принадлежащие $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

В тех образцах, которые получены при затворении цемента вначале только водой, присутствие извести не обнаружено. В образцах цементного камня, полученных без СП С-3, присутствуют следы кальцита (линии 3,86 Å; 3,03 Å; 2,84 Å; 2,09 Å).

Рентгенограммы отражают сложность состава продуктов гидратации. Даже в возрасте 4,5 лет линии рентгенограмм цементного камня малоинтенсивные, особенно в области больших межплоскостных расстояний, размытые. Все линии асимметричны вследствие того, что образовавшиеся в цементном камне фазы имеют неупорядоченную структуру. Такая структура может получаться в случае определенных пространственных затруднений и других факторов, влияющих на процесс кристаллизации.

В образцах с добавкой СП С-3 образуется больше фаз. Их количество возрастает еще больше при низких водоцементных отношениях. Сравнивая фазовый состав цементного камня после 28 сут твердения с таковым после 4,5 лет твердения, следует отметить, что вначале образуется особенно обогащенная оксидом кальция фаза C_3SH_2 , которая с течением времени распадается и в образцах после 4,5 лет твердения отсутствует.

Как известно, на ранних стадиях процесса гидратации цемента образуется твердый раствор внедрения $\text{CSH}(\text{B})$. Растворимость в твердом состоянии определяется, в первую очередь, характером химической связи. Большую роль при этом играют также подобие кристаллических решеток и так называемый размерный фактор, в соответствии с которым различие в размерах атомов компонентов при образовании твердого раствора не должно превышать 8–15 %. Размеры атомов Si – 1,16 Å, H – 0,529 Å, O – 0,50 Å, Ca – 1,90 Å. Таким образом, различие в размерах атомов этих элементов более 15 %. Кроме того, оксид кремния является плохим растворителем вследствие высокой прочности ковалентно-ионной связи Si-O (468,9 кДж/моль). Поэтому образующиеся в цементном камне твердые растворы внедрения неустойчивы и распадаются.

В образцах, полученных без СП С-3, твердый раствор распадается преимущественно на тоберморит и фазу $\text{C}_2\text{SH}(\text{C})$. Фазы, обогащенной CaO, образуется гораздо меньше (линий мало и все они малоинтенсивны). В остальных образцах твердые растворы внедрения распадаются на несколько фаз: часть фаз обогащена CaO в боль-

шей степени, другая часть гидросиликатов кальция обогащена СаО в меньшей степени. Цементный камень без С-3 обладает более однородной структурой, так как образуется преимущественно тоберморит.

Распад твердых растворов, который представляет собой фазовое превращение, является одним из эффективных способов воздействия на структуру и свойства цементного камня. Распад твердых растворов в цементном камне происходит вследствие не только большой разницы в размерах атомов кремния, кальция, кислорода и водорода, но и наличия в твердом растворе неоднородностей или зон концентрации кальция.

При распаде твердого раствора цементного камня возможно одновременное выделение нескольких фаз, причем каждая из них может проходить через несколько метастабильных стадий. Метастабильные фазы выделяются когерентно из кристаллической решетки твердого раствора. Образующаяся при этом сверхструктура имеет существенно иные свойства, чем твердый раствор со статистически упорядоченной структурой. Так, тоберморит выделяется в виде пластинчатых слоев, фаза C_2SH (А, В, С) – в виде призм.

В итоге за счет разницы удельных объемов матрицы твердого раствора и неоднородностей или зон и когерентных кристаллитов сверхструктуры выделяющихся метастабильных фаз возникают упругие напряжения, вносящие определенный вклад в упрочнение цементного камня.

В табл. 4 представлены результаты оценки долговременной прочности на сжатие 15 серий образцов цементного камня в возрасте от 28 сут до 9,5 и 18 лет, а также коэффициент нарастания прочности во времени β_t , равный отношению фактической прочности цементного камня в возрасте R_t к прочности R_{28} . Контрольные сроки оценки прочности были приняты произвольно.

Т а б л и ц а 4

Номер серии	Прочность на сжатие, МПа / коэффициент β_t				
	28 сут	420 сут	4,5 года	9,5 лет	18 лет
1	76,7 / 1,0	87,5 / 1,14	96,9/1,26	100,3/1,31	90,0/1,17
2	68,2 / 1,0	74,5 / 1,10	70,6/1,04	84,2/1,23	81,8/1,20
3	94,1 / 1,0	103,2 / 1,10	96,1/1,02	94,3/1,00	104,7/1,11
4	100,4 / 1,0	108,0 / 1,08	101,8/1,01	95,0/0,95	119,5/1,19
5	93,2 / 1,0	96,5 / 1,04	97,2/1,04	109,3/1,17	110,6/1,19
6	93,9 / 1,0	99,2 / 1,06	93,6/1,00	113,6/1,21	94,0/1,00
7	101,4 / 1,0	108,6 / 1,07	112,3/1,11	110,5/1,09	-
8	89,9 / 1,0	97,2 / 1,08	85,2/0,95	94,4/1,05	-
9	100,9 / 1,0	106,7 / 1,06	104,4/1,03	107,3/1,06	-
10	106,5 / 1,0	111,6 / 1,05	99,2/0,93	92,6/0,87	-
11	96,2 / 1,0	99,8 / 1,04	90,7/0,94	102,0/1,06	-
12	106,0 / 1,0	110,4 / 1,04	106,8/1,01	113,9/1,07	-
13	103,4 / 1,0	108,3 / 1,05	97,6/0,94	107,6/1,04	-
14	127,6 / 1,0	135,4 / 1,06	126,5/0,99	137,3/1,08	-
15	123,6 / 1,0	127,0 / 1,03	108,9/0,88	117,5/0,95	-

П р и м е ч а н и е : перед чертой – прочность на сжатие, после черты – коэффициент нарастания прочности $\beta_t = R_t / R_{28}$.

Анализ данных, приведенных в табл. 4, с учетом процедуры введения СП в цементное тесто, пористости цементного камня и степени гидратации цемента, рассмотренных выше, подтверждает мнение многих исследователей о том, что конечные механические свойства цементного камня определяются начальными стадиями его твердения. Можно отметить, что изменение прочности во времени для всех 15 серий опытных образцов носит волнообразный характер, однако продолжительность и

амплитуда волны для модифицированных и немодифицированных гидратационных структур твердения цементного камня разные.

Результаты исследования развития прочности суперпластифицированного цементного камня, изготовленного с дозировкой СП С-3 в интервале 1,0...0,25 % от массы цемента при постоянном значении В/Ц, как 0,24, так и 0,27, свидетельствуют о том, что прочность суперпластифицированного цементного камня может быть выше и ниже, чем у контрольного состава. Различие прочности в суперпластифицированном цементном камне может быть объяснено главным образом изменением условий протекания относительно быстрых химических реакций между цементом и водой в течение времени механического перетирания смеси, что предопределяет величины адсорбции, вязкости и дзета-потенциала в цементной дисперсной системе при изменении количественной дозировки и времени введения СП. Заслуживают внимания и образцы составов 10 и 15, которые показали значения коэффициента нарастания прочности меньше единицы как в возрасте 4,5 года, так и – 9,5 лет.

В заключение следует отметить, что проведенные опыты по изучению долговременного поведения суперпластифицированного цементного камня позволяют констатировать наличие четкой тенденции влияния СП и процедуры его введения на характер изменения долговременной прочности. Однако, это только тенденция, так как факторов влияния значительно больше, чем рассмотрено в данной работе, что свидетельствует о сложности и необходимости более детального изучения этой проблемы с учетом разработки и применения в строительной практике СП нового поколения и композиционных вяжущих веществ.

Список литературы

1. Мчедлов-Петросян, О.П. Поздние стадии гидратации цемента [Текст] / О.П. Мчедлов-Петросян, В.Л. Чернявский, А.Г. Ольгинский // Цемент. – 1982. – №9. – С. 15–17.
2. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона [Текст] / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
3. Сычев, М.М. Некоторые вопросы химии бетона и цементного камня [Текст] / М.М. Сычев // ЖПХ АН СССР. – 1981. – Т. LIV. – №9. – С. 2036–2043.
4. Гениев, Г.А. Практический метод расчета длительной прочности бетона [Текст] / Г.А. Гениев // Бетон и железобетон. – 1995. – № 4. – С. 25–27.

References

1. Mchedlov-Petrosyan, O.P. Cement hydration stage research [Text] / O.P.Mchedlov-Petrosyan, V.L. Chernjavsky, A.G. Olginskiy // Cement. – 1982. – №9. – P. 15–17.
2. Akhverdov, I.N. Basis of concrete physics [Text] / I.N. Akhverdov. – M.: Stroyizdat, 1981. – P. 464.
3. Sichov M.M. Some questions of concrete and cement stone chemistry [Text] / GAC, AS USSR. – 1981. – V. LIV. – № 9. – P. 2036–2043.
4. Genijev G.A. Practical method of long-term concrete durability calculation [Text] / G.A. Genijev // Concrete and reinforced concrete. – 1995. – № 4. – P. 25–27.

УДК 666.96...13.015.427:[691.511:665.637]

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Мороз Марина Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология бетонов, керамики и вяжущих»
E-mail: mn.moroz80@gmail.com**Егорев Сергей Иванович**, кандидат технических наук, доцент**Володин Владимир Михайлович**, аспирант*ООО «Новые технологии строительства»*Россия, 660012, г. Красноярск, ул. Семафорная, д.219, оф.202
тел./факс: 391 277-72-09**Троянов Игорь Юрьевич**, генеральный директор
E-mail: troyanov.54@mail.ru*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Moroz Marina Nicholaevna, Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Technology of Concretes, Ceramics and Binding Materials»
E-mail: mn.moroz80@gmail.com**Egorev Sergey Ivanovich**, Candidate of Sciences, Associate Professor**Volodin Vladimir Mihajlovich**, Postgraduate student*«New building technology»*Russia, 660012, Krasnoyarsk, 219, Semaforay St., of.202
tel./fax: 391 277-72-09**Troyanov Igor Yuryevich**, director general
E-mail: troyanov.54@mail.ru

ЭФФЕКТИВНЫЙ ГИДРОФОБИЗАТОР «ПРИМ-1». ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.Н. Мороз, С.И. Егорев, В.М. Володин, И.Ю. Троянов

Предложен высокоэффективный порошкообразный гидрофобизатор «ПРИМ-1». Получены эффективные, экономичные и долговечные композиционные строительные материалы. Разработаны две схемы реакционного процесса получения добавки «ПРИМ-1». Рассмотрено ее влияние на основные физико-технические свойства композиционных материалов.

Ключевые слова: гидрофобизатор, консервация мазута, долговечные строительные материалы.

EFFECTIVE WATERPROOF ADDITIVE «PRIM-1». BASIC PHYSICOTECHNICAL PROPERTIES OF MODIFIED COMPOSITES

M.N. Moroz, S.I. Egorev, V.M. Volodin, I.Y. Troyanov

The authors offer a highly effective hydrophobic powder concrete additive. They have got effective, economical and waterproof building materials. Two schemes of reaction process of getting admixture «PRIM-1» are developed. They have researched «PRIM-1» influence on the main features of composite materials.

Keywords: hydrophobic powder concrete additive, black oil preservation, durable building materials.

Наличие в материалах пор и капилляров ставит перед инженерами-технологами задачи защиты поверхности от влаги. Влага, попадая в капиллярную систему строительных материалов, начинает мигрировать по микропорам и приводит к неблагоприятным последствиям. Проникая в поры бетона, вода растворяет соли, которые при переменном «увлажнении-высушивании», кристаллизуясь, расшатывают структуру. При диффузии растворимых солей на поверхности строительных материалов образуются высолы. Кроме того, вода, заполняя поры материала при многократном «замораживании-оттаивании», нарушает его структуру, что приводит к разрушению мате-

риала. Поэтому в первую очередь следует создать надежную защиту строительных материалов от непосредственного контакта с водной средой. Это можно достичь эффективной гидрофобизацией строительных материалов.

Однако значительная гидрофобизирующая способность современных гидрофобизаторов, например стеаратов металлов, в сильнощелочной среде минерально-шлаковых композиционных материалов и высокая стоимость поставила перед нами проблему поиска более доступных и дешёвых гидрофобизаторов.

Рост объемов потребления газообразного топлива взамен жидкого – нефти и мазута, а также твердого – угля позволило существенно улучшить экологическую обстановку, исключить целый ряд сложных операций подготовки топлива к сжиганию, упростить подачу его к местам потребления, повысить культуру производственного процесса. С переходом хозяйств на газообразное топливо исчезли громоздкие угле-размольные цеха, металлические и бетонные складские емкости для мазута.

Ликвидация стальных и бетонных резервуаров для нефтепродукта – трудоемкая операция, осуществляемая только с помощью газовой резки, чревата негативными последствиями. Неутилизированные металлические емкости со временем подвержены коррозии, что приводит к протеканию мазута и созданию пожароопасной обстановки. На многих предприятиях, перешедших 5-10 лет назад с жидкого топлива на газообразное, складские участки для хранения мазута существуют до настоящего времени. Загрязняя территорию лужами растекшегося мазута, они создают неблагоприятную экологическую обстановку на предприятиях.

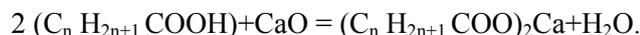
К сожалению, в практике отсутствуют надежные методы консервации загрязненных территорий, исключающие миграцию мазута в почву. Отсутствуют технические решения по приданию твердообразного состояния надпочвенным разливам мазута с возможным использованием продуктов в некоторых производствах. Кроме того, весьма трудоемок процесс слива из емкостей остатков загустевшего мазута. Для этого их необходимо разогревать паром. Из-за невозможности реализовать такие остатки, их, как правило, сжигают.

Высококипящая часть нефти, остающаяся от извлечения низкокипящих продуктов, не исследовалась в качестве сырья для получения гидрофобных добавок.

В связи с этим нами была разработана порошкообразная гидрофобная добавка – продукт реакции взаимодействия извести с мазутом – «ПРИМ-1».

Смешивание извести с мазутом сопровождается двумя реакциями. Первая реакция – это реакция гашения извести водой, содержащейся в мазуте. В процессе экзотермической реакции выделяется 1160 кДж тепла на 1 кг оксида кальция. Установлено, что данная реакция протекает и с полностью обезвоженным мазутом.

Наибольшее количество высококипящих кислот содержится в мазутах из парафинистых нефтей. Для насыщенных кислот парафинового ряда реакционный процесс идет по следующей схеме:



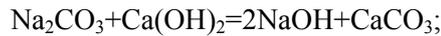
Выделяющаяся при этом вода идет на параллельную реакцию гашения оксида кальция, в результате которой образуются гидрофобные кальциевые соли жирных и нафтеновых кислот.

Схема реакционных процессов извести с обезвоженным мазутом представлена на рис. 1. Из схемы видно: первая реакция – это взаимодействие CaO с нафтеновой кислотой мазута с выделением воды (I цикл). Затем реакционный процесс сдвигается в сторону взаимодействия извести с образовавшейся водой (II цикл). Образующаяся Ca(OH)₂ может реагировать с нафтеновой кислотой. Однако в связи с микронеразоднородностью реакционной системы возможна и реакция рецикла.

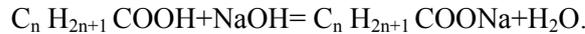
В схеме реакционного процесса взаимодействия нафтеновой кислоты в мазуте при ограниченном содержании воды в нем реакция начинается со связывания воды известью. Указанные реакционные процессы отличаются конкурентностью.

Если в качестве реакционно-активных ингредиентов использовать смесь негашеной извести и соды, то протекают следующие химические реакции:

– реакция гидратации CaO с водой и реакция каустификации соды известью



– реакция омыления жирных и нафтеновых кислот щелочью



При избытке извести возможно протекание катионно-обменных реакций:

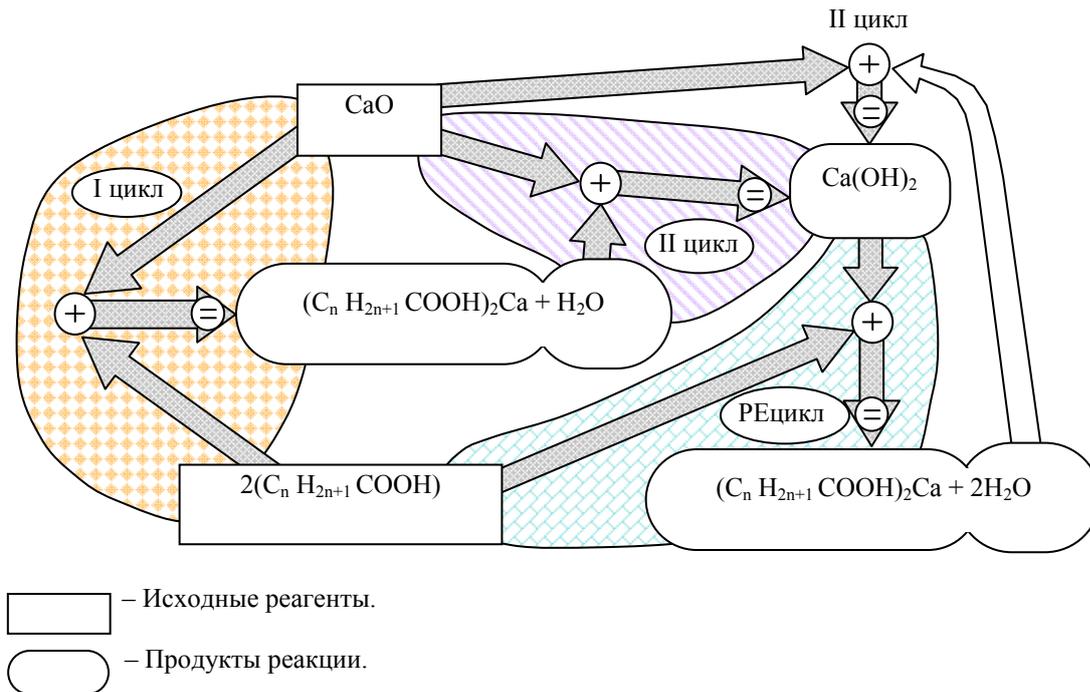
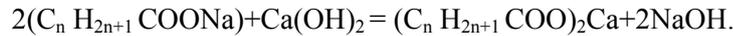


Рис. 1. Схема реакционного процесса взаимодействия нафтеновой кислоты в обезвоженном мазуте с Ca(OH)₂

Исследование влияния «ПРИМ-1» на водостойкость минерально-шлакового вяжущего (МШВ) производилось на образцах–цилиндрах Ø 2,5 см, отформованных методом прессования при давлении 25 МПа из Нижнетагильского шлака и доломитизированного Иссинского известняка в соотношении компонентов «шлак:известняк» 1:1,7 (модификатор «ПРИМ-1» брали в количестве 3,5 % от массы смеси). Следующий состав содержал комплекс: «ПРИМ-1:стеарат цинка» – 6:1, т.е. от массы вяжущего бралось 3 % «ПРИМ-1» и 0,5 % стеарата цинка. Стеарат цинка – торговый гидрофобизатор (по химическому составу близок полученному модификатору «ПРИМ-1») был взят для сравнения. Смесь затворяли раствором щелочи в количестве 3 % от массы смеси при В/Т=0,14. После твердения в течение 28 суток в нормально-влажностных условиях образцы высушивали в сушильном шкафу при температуре 100±5 °С и определяли водопоглощение по массе.

Как показывают наши исследования, торговый стеарат цинка при увеличении его дозировки свыше 2 % понижает прочность на осевое сжатие минерально-шлаковых композиций, а при уменьшении дозировки значительно понижается гидрофобизирующий эффект. Поэтому были проведены исследования по определению прочности на осевое сжатие и водопоглощение модифицированных материалов.

На рис. 2 показаны значения прочности на осевое сжатие гидрофобизированного состава при нормально-влажностном твердении в течение 28 суток, а на рис. 3 пред-

ставлена кинетика водопоглощения по массе в течение 80 суток насыщения образцов в воде гидрофобизированного карбонатно-шлакового вяжущего (КШВ) порошкообразным «ПРИМ-1» и комплексом «ПРИМ-1+стеарат цинка».

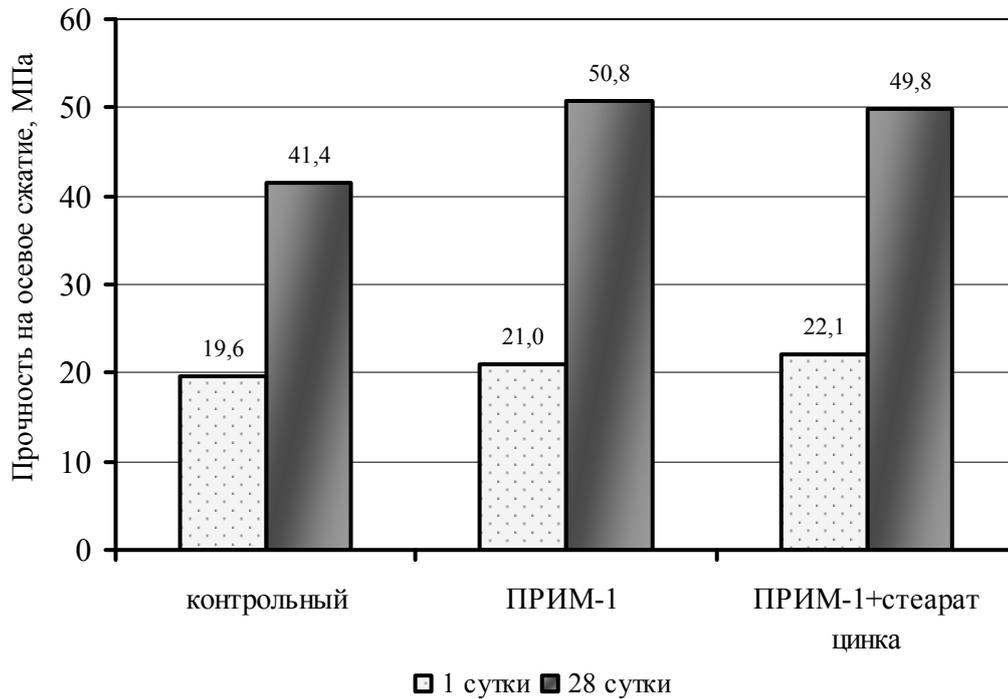


Рис. 2. Прочность на осевое сжатие КШВ с порошкообразным ПРИМ-1 и комплексом «ПРИМ-1+стеарат цинка»

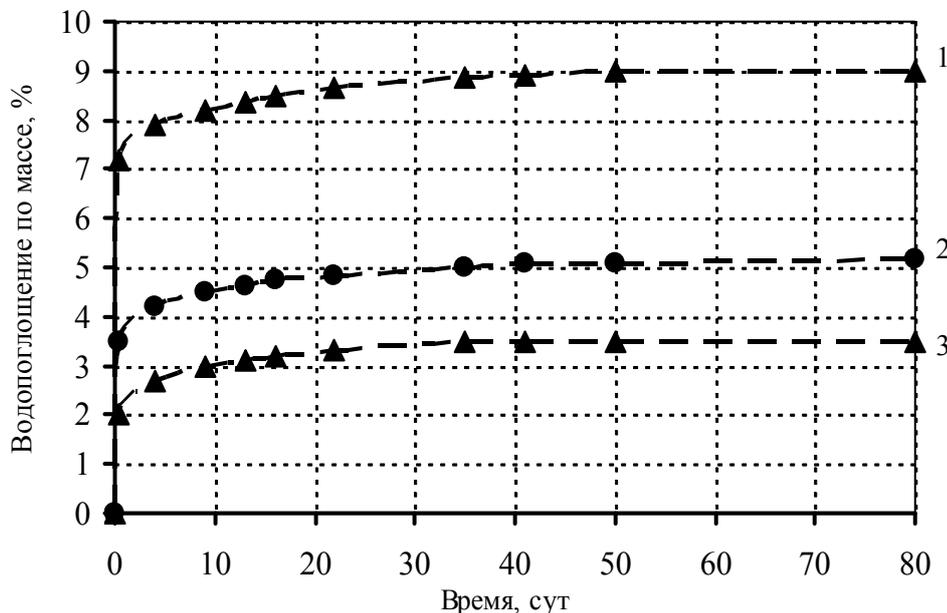


Рис. 3. Кинетика водопоглощения по массе КШВ с порошкообразным ПРИМ-1 и комплексом «ПРИМ-1+стеарат цинка»:
1 – контрольный; 2 – гидрофобизированный «ПРИМ-1»; 3 – гидрофобизированный комплексом «ПРИМ-1+стеарат цинка»

Позитивным фактором является то, что прочность на сжатие гидрофобизированных КШВ составов как в начальные, так и в нормативные сроки испытания образцов выше значений контрольного состава. В отличие от стеаратов металлов добавка не снижает прочности вяжущего даже при 5 %-м содержании.

Водопоглощение по массе КШВ, гидрофобизированного «ПРИМ-1» в первые часы водонасыщения, в 3 раза ниже, чем у контрольного состава.

При более длительном нахождении в воде эффективность гидрофобизирующего действия сохраняется, гидрофобизированный модификатором «ПРИМ-1» состав за 80 суток экспонирования в воде насытил 5,2 % воды, что ниже, чем у негидрофобизированного состава в 1,73 раза, а с комплексом «ПРИМ-1+стеарат цинка» – 3,5 %, что ниже, чем у контрольного в 2,6 раза.

Коэффициент длительной водостойкости гидрофобизированных составов равен 1,02, это свидетельствует о высокой гидрофобности строительных материалов с модификатором «ПРИМ-1».

Применение высокогидрофобных минерально-шлаковых материалов, полученных гидрофобизацией с использованием модификатора «ПРИМ-1», требует учета длительных процессов усадки, что позволит правильно прогнозировать средовую трещиностойкость таких изделий при проектировании конструкций из них. Усадочные деформации – один из важных факторов, который определяет долговечность стеновых материалов в условиях попеременного изменения влажности окружающей среды и воздействия сухого воздуха.

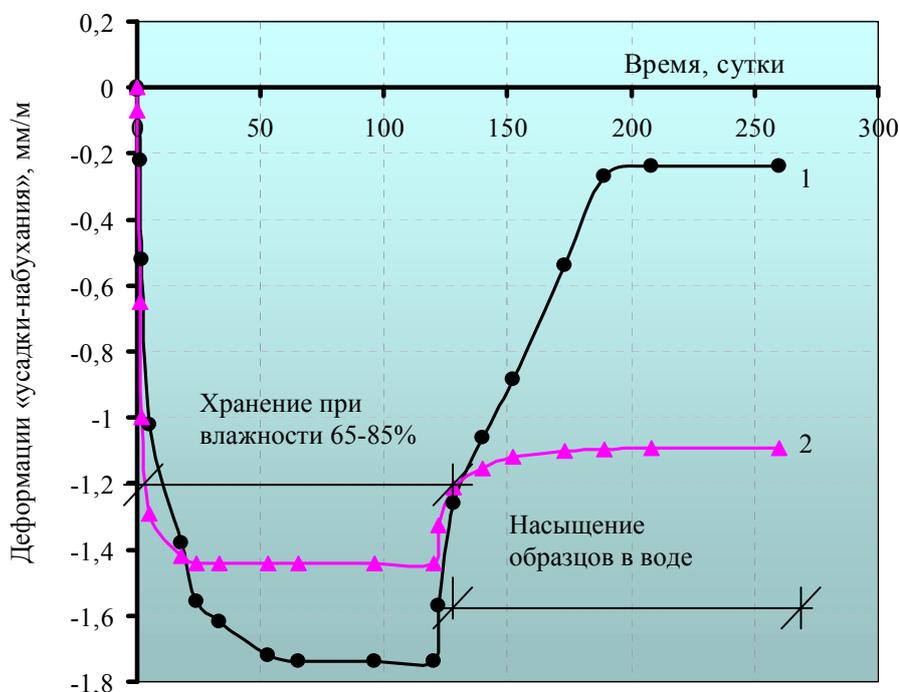


Рис. 4. Деформации усадки и набухания КШВ:
1 – контрольный; 2 – с модификатором «ПРИМ-1»

Развитие деформаций «усадки-набухания» гидрофобизированного КШВ показано на рис. 4. В начальные сроки до 18 суток контрольные и гидрофобизированные составы имели практически одинаковые значения деформаций усадки. В процессе последующего высушивания на воздухе образцов контрольного состава в течение 120 суток усадочные деформации его составили 1,74 мм/м. Введение «ПРИМ-1» в КШВ снизило усадочные деформации в 1,21 раза, и они составили 1,44 мм/м.

Введение гидрофобизирующего модификатора «ПРИМ-1» в КШВ позволило значительно снизить деформации усадки и набухания как при кратковременном нахождении образцов в воде, так и при длительном их экспонировании. Значения деформаций набухания на гидрофобизированных составах показали значения в 4,5 раза ниже значений деформаций набухания бездобавочных составов.

Такое снижение деформаций набухания гидрофобизированного КШВ можно объяснить значительным снижением его капиллярного водонасыщения как в малые сроки выдерживания образцов в воде, так и в более длительные (до 250 суток).

Для оценки трещиностойкости КШВ образцы контрольного состава и гидрофобизированные «ПРИМ-1» подверглись циклам попеременного «увлажнения-высушивания» (50 циклов). Оценка с помощью отсчётного микроскопа МПБ-2 с ценой деления 50 мкм не позволила обнаружить (после 20 циклов) наличие волосяных трещин как в контрольных, так и в гидрофобизированных образцах. При этом прочность в насыщенном водой состоянии у гидрофобизированных образцов оказалась на 18 % выше, чем у контрольных. Контрольные образцы по сравнению с аналогичными образцами, не подвергавшимися «увлажнению-высушиванию», потеряли в прочности до 5 %. После 50 циклов испытаний гидрофобизированные образцы снизили свою прочность по сравнению с аналогичными, не подвергшимися «увлажнению-высушиванию», на 23 %. Цементно-песчаные составы при соотношении цемент:песок – 1:2, для сравнения, разрушились после 30 циклов. Это является убедительным свидетельством высокой трещиностойкости карбонатношлаковых материалов.

Гидрофобизация КШВ модификатором «ПРИМ-1» служит положительным фактором получения не только высокогидрофобных, но и малоусадочных, малонабухающих материалов. Порошкообразный гидрофобизатор, вводимый непосредственно в тело строительных материалов, значительно препятствует проникновению влаги. При этом исключается возможность появления в капиллярно-пористой структуре материала капиллярных сил, способствующих обжатию КШВ, что уменьшает усадочные деформации.

Полученные данные по гидрофобизации КШВ позволяют рекомендовать порошковые «ПРИМ-1» и комплекс «ПРИМ-1+стеарат цинка» в качестве эффективных добавок-гидрофобизаторов с длительным устойчивым эффектом гидрофобизации.

С экономической и экологической точки зрения разработанный нами гидрофобизатор «ПРИМ-1» выгоден тем, что путем решения проблемы консервирования жидкого топлива получен новый и эффективный гидрофобизатор щелочных бетонов, стоимость которого значительно ниже, чем стеаратов металлов. По физико-техническим и гигрометрическим показателям такие высокогидрофобные КШВ мало уступают по гидрофобности вяжущим, модифицированным готовыми торговыми стеаратами [1-3]. Стоимость «ПРИМ-1» при организации технологии производства его может быть в несколько раз меньше, чем товарных стеаратов металлов.

Продукт реакции содо-известково-мазутной смеси – порошковый модификатор-гидрофобизатор «ПРИМ-1» рекомендуется использовать в шлакощелочных и минерально-шлаковых бетонах, а также в традиционных цементных.

Научно-исследовательская работа по разработке эффективной гидрофобной добавки «ПРИМ-1» ведется при поддержке «Учреждение Научно-исследовательский институт строительной физики Российской Академии архитектуры и строительных наук» (Грант РААСН для молодых ученых и специалистов, № государственной регистрации 01.2.01 0016118).

Список литературы

1. Органические гидрофобизаторы в минерально-шлаковых композиционных материалах из горных пород [Текст] / В.И. Калашников, М.Н. Мороз, В.Л. Хвастунов, В.Ю. Нестеров, П.Г. Василик // Строит. материалы. – 2005. – № 4. – С.26–29.
2. Металлоорганические гидрофобизаторы для минерально-шлаковых вяжущих [Текст] / В.И. Калашников, М.Н. Мороз, В.Ю. Нестеров, В.Л. Хвастунов, П.Г. Василик // Строит. материалы. – 2006. – № 10. – С.38–39.
3. Высокогидрофобные строительные материалы на минеральных вяжущих [Текст] / В.И. Калашников, М.Н. Мороз, В.А. Худяков, П.Г. Василик // Строител. материалы. – 2009. – № 6. – С. 81–83.

References

1. Organic waterproof additions in mineral-slag composite materials from rocks / V.I. Kalashnikov, M.N. Moroz, V.L. Khvastunov, V.Y. Nesterov, P.G. Vasilik // Building Materials. – 2005. – № 4. – P.26–29.
2. Metal-organic waterproof additions for mineral-slag knitting / V.I. Kalashnikov, M.N. Moroz, V.Y. Nesterov, V.L. Khvastunov, P.G. Vasilik // Building Materials. – 2006. – № 10. – P.38–39.
3. Hight waterproof building materials on mineral knitting / V.I. Kalashnikov, M.N. Moroz, V.A. Khudyakov, P.G. Vasilik // Building Materials. –2009. – № 6. – P. 81–83.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Демьянова Валентина Серафимовна,
доктор технических наук, профессор, зав.
кафедрой «Инженерная экология»
Тел.: 8-841-92-95-01

E-mail: ie@pguas.ru

Чумакова Ольга Александровна,
аспирант кафедры «Инженерная
экология»
Тел.: 8-841-92-95-01

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Demyanova Valentine Serafimovna,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Engineering Ecology»
Tel.: 8-841-92-95-01

E-mail: ie@pguas.ru

Chumakova Olga Aleksandrovna,
Postgraduate of the department «Engineering
Ecology»
Tel.: 8-841-92-95-01

СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ)

В.С. Демьянова, О.А. Чумакова

Рассмотрены рациональные области применения нерудных строительных материалов и направления рециклинга отходов камнедробления добычи стеновых камней. Предложено технически целесообразное использование карьерных выемок в качестве полигона для временного хранения малотоксичных промышленных отходов.

Ключевые слова: строительные материалы, добыча, окружающая среда, промышленные отходы, отработанный карьер, рециклинг, рекультивация.

REDUCTION OF MINING NEGATIVE IMPACT ON THE ENVIRONMENT (ON THE EXAMPLE OF PENZA REGION FIELD)

V.S. Demyanova, O.A. Chumakova

The authors consider rational areas of non-metallic building materials use and recycling directions of crushed wastes formed in the process of wall stone getting. They have proposed technically beneficial use of quarry excavations as a testing ground for temporary storage of low-toxic industrial wastes.

Keywords: building materials, mining, environment, industrial wastes, quarry waste, recycling, reclamation.

Развитие промышленности строительных материалов и строительства тесно связано с добычей полезных ископаемых. В последние годы антропогенная деятельность человека, проявляющаяся в местах добычи полезных ископаемых, приобретает все большую опасность. Рациональное природопользование полезных ископаемых с последующей утилизацией отходов добычи и рекультивацией отработанных карьеров обеспечивает устойчивое развитие техносферы и снижение техногенной нагрузки на окружающую природную среду [1, 2].

В настоящей работе изложена возможность снижения негативного воздействия на окружающую среду в процессе добычи природных каменных материалов на примере месторождений Пензенской области, где основным эксплуатируемым сырьем являются распространенные нерудные полезные ископаемые, объемы добычи которых представлены на рис. 1.

Обеспечение рационального природопользования при реализации хозяйственной деятельности на территориях как уже освоенных, так и перспективных для дальнейшего использования требует анализа существующих месторождений.

Опираясь на анализ геологических, природных и экономических факторов, территорию Пензенской области условно можно разделить на две горнопромышленные зоны (ГПЗ) – западную (14 районов) и восточную (14 районов). Эти зоны, занимающие практически одинаковую территорию, существенно различаются по наличию минерально-сырьевых ресурсов и объемам производимой из них продукции. В западной ГПЗ промышленное значение месторождений имеют строительные пески, кирпичные и керамзитовые глины, балансовые показатели которых составляют примерно 22, 28 и 5 % областных запасов. В недрах восточной ГПЗ сосредоточены основные минерально-сырьевые ресурсы области, представленные как разведанными запасами, учтенными и не учтенными балансами, так и прогнозируемыми ресурсами. В этой зоне сконцентрировано 100 % запасов промышленных категорий силикатных, стекольных и формовочных песков, керамзитовых и кирпичных глин, сырья для производства цемента и извести, строительного камня. В Пензенской области отсутствуют ресурсы песчано-гравийных материалов; по этой причине из ассортимента нерудных материалов можно выделить в основном щебень и песок. Месторождения добычи строительного камня представлены преимущественно песчаниками и лишь в единичных случаях опоками. По балансовым запасам добыча строительного камня уступает лишь пескам, предназначенным для строительных работ и производства силикатных изделий (рис. 2).

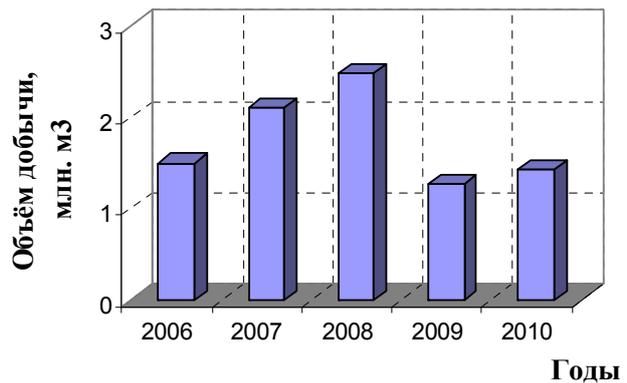


Рис. 1. Объемы добычи общераспространенных полезных ископаемых

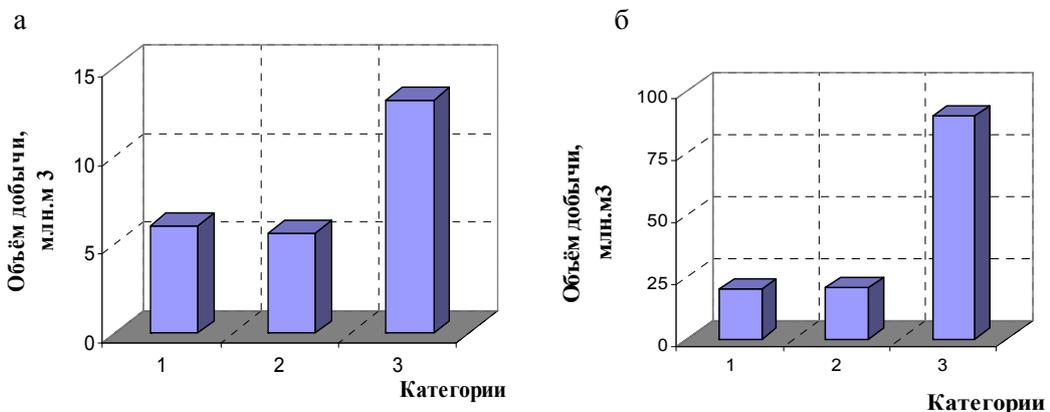


Рис. 2. Балансовые запасы месторождений добычи стеновых камней (а) и строительных песков (б) Пензенской области по категориям: 1 – А+В+С₁; 2 – С₂; 3 – прогнозируемые ресурсы

Из всего многообразия полезных ископаемых Пензенской области наибольший интерес представляют месторождения строительных песков и строительного камня, что обусловлено присутствием в их составе преобладающего количества кварца, значительно активизирующего свои свойства при помоле. Ниже приведен усредненный химический состав отдельных месторождений строительного песка и строительного камня в %: SiO₂ – 97,30...99,42; Al₂O₃ – 0,10...0,95; Fe₂O₃ – 0,46...0,80; CaO – 0,14...0,70; MgO – до 0,40; Na₂O+K₂O – 0,13...0,33; SO₃ – 0,019; R₂O₃ – 0,9...1,45; п.п.п. – 0,34...0,54.

В процессе измельчения кварца происходит частичная аморфизация поверхностных слоев, способствующая возрастанию поверхностной энергии дисперсных частиц кварца, в результате чего в значительной степени увеличивается реакционно-химическая активность кварца [3]. При помолу кристаллического кварца, в зависи-

мости от условий его осуществления и количества материала, достигается определенный уровень механоактивации дисперсного вещества, достаточный для проявления им вяжущих свойств. В связи с этим в измельченном виде активная форма аморфизированного кварца способна к взаимодействию с гидролизной известью, выделяемой в процессе гидратации минералов цементного клинкера, с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция, что указывает на возможность использования измельченных отходов, содержащих активную форму аморфизированного SiO_2 , в качестве дисперсных наполнителей цементных композиций.

Для оценки процессов структурообразования и выявления оптимальных дозировок были изготовлены наполненные клинкерные цементы, содержащие от 5 до 35 % дисперсных наполнителей. Наличие в составе цементных композиций микронаполнителей из отходов камнедробления песчаников и измельченных строительных песков способствует повышению прочности на 25...35 % и обеспечивает возможность получения реакционно-активных наполнителей, близких по активности к микрокремнезему и микрокварцу. Реакционно-химическая активность измельченных строительных песков и отходов песчаников возрастает в пластифицированных цементных системах. Практически все суперпластификаторы действуют значительно лучше на водных дисперсиях оксидов, минеральных порошков или их смесей с цементом, по сравнению с дисперсиями чистого цемента вследствие эффекта «соразжижения». Цемент, как нестабильная в воде гидратирующаяся система, образует суперколлоидные частицы сразу же после контакта с водой. Водоредуцирующее действие суперпластификатора С-3 (Вд) изменяется:

- в цементных суспензиях – от 55 до 65 %;
- в цементно-песчаных растворах – от 30 до 40 %;
- в бетонных смесях – от 20 до 35 %.

Максимальная эффективность по Вд для различных цементов обеспечивается при $V/C = 0,19...0,22$.

Кроме того, строительные пески месторождений Пензенской области в основном относятся к мелкозернистым с низким модулем крупности 1,5...1,8. Ограниченная область использования таких тонких природных песков, не востребованных в технологии традиционных бетонов, требует расширения рациональной области их применения. Поэтому возможная замена микрокремнезема и промышленного микрокварца измельченными отходами камнедробления стеновых камней и строительного песка является актуальной как с экологической, так и с экономической точки зрения.

Другой важной проблемой добычи нерудных ископаемых, осуществляемой путем открытого способа ведения горных работ, является образование значительного количества карьеров, нарушающих природный ландшафт и требующих рекультивации. Незаменимым рекультивационным материалом карьерных выработок могут служить отходы производства и потребления. Как известно, функционирование любого предприятия сопровождается образованием отходов, из них более 90 % составляют нетоксичные отходы перерабатывающей и добывающей промышленности, а также промышленные отходы, относящиеся к III и IV классам опасности. Нередко подобные отходы могут рассматриваться как технологичное и экономичное сырье для смежных областей промышленности, а их утилизация, при условии строгого контроля соответствующих органов за соблюдением природоохранного законодательства, может быть признана экологически целесообразной [4]. При выборе отходов для использования их в качестве рекультивационных материалов предпочтение отдается малотоксичным отходам. Отбор отходов для заполнения выработанного пространства карьера проводится с учетом их свойств. Например, для формирования защитного слоя и подсыпки под гидроизоляционный экран используются сыпучие мелкодисперсные малотоксичные отходы. Для формирования ряда объемных структурных элементов карьера и выполаживания откосов применяются отходы с высокой механической прочностью и низким коэффициентом пористости. Анализ свойств и характеристик отходов по названным факторам позволяет определить возможность их использования в качестве рекультивационных материалов и найти соответствие вида отходов структурному элементу отработанного карьера [5]. Известно применение в качестве засыпки отработанных карьеров отходов камнедробления добычи нерудных природных материалов. В качестве засыпки отработанных карьеров, по данным специалистов ОАО «Новые технологии», могут быть использованы отрабо-

танные промышленные формовочные и стержневые смеси (ОФС) при строгом соблюдении количества внесения их в почву. В настоящее время для крупных городов РФ остро стоит проблема обезвреживания отходов строительства и сноса зданий, относящихся к IV и V классам опасности для окружающей среды.

В качестве рекультиванта отработанных карьерных выработок предлагаем использовать отходы камнедробления полезных ископаемых месторождений Пензенской области, получаемые непосредственно в процессе добычи природных материалов, а также малотоксичные промышленные отходы, что обусловлено физическим сходством образуемых отходов и материалов карьерной выработки. Технически полезное использование карьерных выемок в качестве полигона для временного хранения измельченных отходов камнедробления и строительных песков как модифицирующих добавок цементных композиций является актуальным.

В целом, целесообразность рециклинга отходов камнедробления и расширение области применения тонких песков месторождений Пензенской области обосновываются экономической и экологической составляющими. Экономическая составляющая складывается из затрат на горные работы и переработку горной массы, плату за аренду земель, занимаемых отвалами не нашедших сбыта отсеков, штрафы за выбросы в атмосферу. Экологическая составляющая проявляется в увеличении нагрузки на окружающую среду, создаваемой отвалами.

Список литературы

1. Демьянова, В.С. Снижение техногенной нагрузки на окружающую среду путем использования отходов горнопромышленного комплекса в промышленности строительных материалов [Текст] / В.С. Демьянова // Изв. Самарского науч. центра Рос. акад. наук. – Самара: Изд-во Самарского науч. центра РАН, 2007. – С. 42–45.
2. Демьянова, В.С. Комплексное использование промышленных отходов при получении дисперсно-армированных бетонов [Текст] / В.С. Демьянова // Экология и промышленность России. – 2008. – №1. – С 12–14.
3. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
4. Бальзанников, М.И. Экологические аспекты производства строительных материалов из отходов промышленности [Текст] / М.И. Бальзанников, В.П. Петров // Современное состояние и перспективы развития строительного материаловедения: Восьмые акад. чтения РААСН. – Самара, 2004. – С.47–50.
5. Чертес, К.Л. Комплексное размещение отходов промышленного мегаполиса [Текст] / К.Л. Чертес, Д.Е. Быков // Экология и промышленность России. – 2003. – №2. – С.4–8.

References

1. Demyanova V.S. Reduction of technological burden on the environment by using wastes of a mining complex in the building materials industry // Proceedings of the Samara Scientific Center of Russian Academy of Sciences. – Samara. Publisher Samara Research Center, 2007. – P. 42-45.
2. Demyanova V.S. Integrated use of industrial wastes in production of dispersion-reinforced concrete // in Ecology and industry of Russia. – 2008. – № 1. – P. 12–14.
3. Bazhenov Y.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modified high-quality concrete / M.: Publishing ASV, 2006. – 368 p.
4. Balzannikov M.I., Petrov V.P. Environmental aspects of construction materials from industrial wastes // Eight academic reading RAASN. «Current state and prospects of building materials. – Samara, 2004. – P. 47–50.
5. Chertes K.L., Bykov D.E. Integrated disposal of industrial metropolis wastes: Ecology and industry of Russia.

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»
Украина, 61002, г. Харьков-2, ул. Фрунзе, 21.

Шапоров Валерий Павлович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Химическая
техника и промышленная экология»
Тел.: (057)7076651
E-mail: ipitak@rambler.ru

Питак Инна Вячеславовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Химическая техника и
промышленная экология»
E-mail: ipitak@rambler.ru

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Камбург Владимир Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Прикладная
математика и информатика»
Тел.: (841) 2496152
E-mail: kamburg@rambler.ru

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»
Ukraine, 61002, Kharkiv-2, 21, Frunze St.

Shaporev Valery Pavlovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Chemical Technology and
Industrial Ecology»
Tel.: (057) 7076651
E-mail: ipitak@rambler.ru

Pitak Inna Vyacheslavovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Chemical engineering and
industrial ecology»
E-mail: ipitak@rambler.ru

Penza State University of Architecture
and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Kamburg Vladimir Grigorievich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Applied Mathematics and
Computer Science»
Tel.: (841) 2496152
E-mail: kamburg@rambler.ru

ПРОЦЕСС ГИДРАТАЦИИ ОКСИДА МАГНИЯ ВОДОЙ И СТРУКТУРА МАГНЕЗИАЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В.П. Шапоров, В.Г. Камбург, И.В. Питак

Приведены результаты экспериментальных исследований, которые, с нашей точки зрения, подтверждают теоретические предпосылки, полученные авторами в работе [1], и позволяют давать рекомендации по организации процесса гидратации оксида магния водой и структуре магниевой суспензии для использования в строительном производстве.

Ключевые слова: строительное производство, оксид магния, вода, структура магниевой суспензии.

THE PROCESS OF MAGNESIUM OXIDE HYDRATION WITH WATER AND MAGNESIA SUSPENSION STRUCTURE FOR USE IN CONSTRUCTION INDUSTRY

V.P. Shaporev, V.G. Kamburg, I.V. Pitak

The authors give the results of experimental studies, which confirm theoretical background obtained in [1] and allow to make recommendations on the process of magnesium oxide hydration with water and magnesia suspension structure for use in construction industry.

Keywords: building production, magnesium oxide, water, magnesia suspension structure.

Теоретическое обоснование возможной организации процесса получения магниевых гидросуспензий для строительной промышленности, приведённое авторами в работе [1], позволило рационально выбрать диапазон ряда параметров исходных образцов для их экспериментального исследования и дать ряд практических рекомендаций.

В качестве исходных образцов оксида магния исследовались образцы, полученные прокалкой пасты тригидрокарбоната магния ($\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) с физической влажностью 25 % масс. при различных условиях:

- образец 1 – обжиг при температуре 1200 °С в течение 14400 с (4 ч);
- образец 2 – обжиг гранул размером 0,01 м с добавкой 1 % масс. геля $\text{Mg}(\text{OH})_2$ при температуре 500 °С в течение 2400 с (0,66 ч);
- образец 3 – условия образца 2, добавка в исходное сырье 0,5 % масс. V_2O_5 ;
- образец 4 – условия образца 2, добавка в исходное сырье 0,5 % масс. Cr_2O_3 ;
- образец 5 – эталон, прокалка при температуре 1600 °С в течение 14400 с (4 ч).

Исходные образцы анализировались на содержание MgO , CO_2 , Cl по общепринятым методикам, удельная поверхность образцов определялась методом адсорбции иода из раствора четырехлорного углерода. Также исходные образцы и продукты гидратации подвергались рентгенофазовому и рентгеноструктурному анализу на высокотемпературной приставке к дефрактометру УРС–50 ИМ. Источником излучения служила рентгеновская трубка с медным анодом, работающим при напряжении 18 кВ и силе тока 8 мА. Для монохроматизации излучения применялся никелевый фильтр толщиной 40 мкм. Предварительно выполнялась юстировка образца по плоскости луча, затем проводилась проверка по эталону из SiO_2 на точность измерения углов при записи на ЭПП–09. Запись дифрактограмм проводилась со скоростью 0,5 мм/мин, в качестве эталона использовался образец 5.

Гидратация образцов осуществлялась в теплоизолированном герметичном реакторе (высотой реакционного объема 200 мм (0,2 м) и диаметром 180 мм (0,18 м)) путем контактирования 40 г MgO и 500 мл воды с последующей выдержкой в течение заданного времени при перемешивании. Скорость перемешивания варьировалась от 700 до 4000 об/мин. В процессе гидратации отбирались пробы суспензии продуктов гидратации, которые сразу же фильтровались и промывались абсолютным спиртом. Последнее позволило с определенной точностью в любой момент времени судить о степени гидратации и структуре твердой фазы.

В процессе исследований применялся также электронный микроскоп УЭМВ–100К.

Термографический анализ проводился на дериватографе типа ОД–102 системы «Paulik, Paulik, Eldey». Образцы в количестве от 100 до 500 мг помещались в тигель дериватографа; при этом использовались платиновые тигли типа плоской тарелки, при применении которых достигается максимальный теплообмен и имеет место быстрая диффузия газов из зоны реакции. В качестве эталона служил оксид магния, обожженный при температуре 1600 °С в течение 4 ч, и гидроксид магния реактивной квалификации марки ЧДА. Скорость нагрева образцов составляла 10 °С/мин. ИК-спектры продуктов гидратации записывались на инфракрасном спектрометре ИР-10 фирмы «Карл Цейс». Образцы для съемки изготавливались методом таблетирования в КВг. В качестве образца сравнения использовалась таблетка из чистого (перекристаллизованного) КВг. Запись спектра производилась при IV целевой программе с соблюдением следующих условий: скорость регистрации спектра – 32 cm^{-1} /мин, масштаб регистрации – 32 мм/мин; точность измерения волновых чисел составляла в среднем $\pm 2 \text{ cm}^{-1}$; калибровка осуществлялась по полистиролу.

ЯМР-спектры записывались на радиоспектрометре РС–60 при фиксированной частоте 60 МГц. Частота модуляции – 41 Гц. Последняя подбиралась оптимальной с точки зрения регистрации «узкой» компоненты линии ПМР от протонов, адсорбированных на поверхности. Для этого образцы растирались в ступке, если это было необходимо, пропускались через сито 140 мкм и помещались в тонкостенные капилляры диаметром 5 мм и длиной 100 мм; капилляры помещались в прибор. При этом снимались первые производные линий поглощения протонного резонанса.

Электрокинетический потенциал продуктов гидратации MgO определялся методом электрофореза на лабораторной установке. Установка представляет собой усовершенствованный прибор Вена.

В полученной суспензии $\text{Mg}(\text{OH})_2$ определялись степень гидратации, диаметр агломератов $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – по светорассеянию оптической плотности, влажность сус-

пензии определялась методом сушки. Пригодность водной суспензии $Mg(OH)_2$ в качестве покрытия определялась по следующей методике. Для этого обезжиренные спиртом стальные пластины погружались методом окунания в суспензию $Mg(OH)_2$, встряхивались для удаления избытка суспензии и высушивались в сушильном вакуумном шкафу при заданной температуре. По сформировавшемуся покрытию проводили в противоположных направлениях адгезиометром: чернильной резинкой (размер 20×30 мм) под нагрузкой 5 кг. Покрытие обладает высокой адгезионной способностью, если после двухкратного движения резинки с грузом не наступает оголения металла. Адгезионная способность к трансформаторной стали определялась отношением количества снятого адгезиометром покрытия к его начальной массе.

Все исходные образцы MgO имели содержание основного вещества $MgO \geq 98\%$, $CO_2 < 1\%$, примеси ионов $Cl^- < 0,04\%$, примеси ионов Fe $< 0,08\%$; ионное число: образец 1–25, образец 2–150, образец 3–140, образец 4–120, образец 5–5, что соответствует удельной поверхности по БЭТ: 1–24; 2–135; 3–130; 4–115; 5–4 m^2/g соответственно.

Проведенные рентгенографические исследования образцов MgO позволяли определить количественные характеристики микроструктуры полученных образцов. Так, анализ дифрактограмм табл. 1 показал, что в плоскостях HKL 200 и 220 для образцов 2–4 наблюдается снижение интенсивности и увеличение полуширины линий по сравнению с эталоном MgO. Наблюдаемое явление можно объяснить влиянием двух факторов: искажением кристаллической решетки, обусловленной возникновением неоднородных упругих деформаций, и субмикронеоднородности структуры. Под последней понимается существование областей когерентного рассеяния рентгеновских лучей (блоков рассеяния), которые могут рассматриваться как весьма малые области, размером порядка 10^{-8} м. Наличие субмикронеоднородности, а также существование искажений (дефектов) кристаллической решетки определяют дефектность структуры. Поэтому для идентификации влияния каждого из указанных факторов в отдельности были проведены расчеты дифрактограмм.

Т а б л и ц а 1

Характеристика дифрактограмм образцов MgO

№ п/п	Характеристика образцов	Условия съемки					
		HKL	25 °С				
			I , мм	β , ред	h , мм	2 ϕ	D , Å
1	MgO (без добавок, 1200 °С)	200	209	–	6,5	43	–
		220	117	–	7,2	62,3	–
2	MgO	200	167	$259 \cdot 10^{-5}$	7,5	43	406
		220	93	$197 \cdot 10^{-5}$	8,6	62,3	584
3	MgO+Cr ₂ O ₃	200	104	$97 \cdot 10^{-3}$	10,5	43	10,8
		220	64	$60 \cdot 10^{-3}$	11,5	62,3	19,1
4	MgO+B ₂ O ₃	200	97	$92 \cdot 10^{-3}$	9,0	43	11,4
		220	57,5	$52 \cdot 10^{-3}$	10,0	62,4	22
5	MgO (эталон)	200	134	$121 \cdot 10^{-3}$	7,5	43	8,7
		220	77	$62 \cdot 10^{-3}$	9,0	62,4	18,5

П р и м е ч а н и е : I и h – интенсивность и полуширина линий в соответствующих плоскостях; β – истинное физическое уширение линии образца; D – диаметр блоков мозаики.

После проведения количественной оценки доли влияния факторов блочности и микронапряжений по истинным физическим уширениям 2-х линий одного и того же вещества было установлено, что уширения образцов 2–4 обусловлены только дисперсностью блоков мозаики. Расчетные экспериментальные данные (см. табл. 1) показывают, что введение добавок более чем на порядок уменьшает дисперсность блоков. Причем размеры блоков мозаики, определенные по разным линиям рентгенограмм, различны, что, очевидно, связано с неравномерностью блоков. Необходимо также отметить, что при анализе рентгенограмм образцов дополнительных линий, характе-

ризующих образование новых химических соединений между добавками и MgO в процессе обжига, не обнаружено, т.е. вводимые в карбонатное сырье добавки не приводят к образованию каких-либо новых химических веществ, которые могли бы повлиять на размеры блоков мозаики и другие свойства материала.

Таким образом, значительное уменьшение размеров блоков мозаики при введении добавок в карбонатное сырье, по нашему мнению, может быть связано только с увеличением дефектности структуры кристаллической решетки MgO и изменением уровня Ферми.

Следовательно, введенные в состав карбоната магния добавки, не образуя химических соединений, а за счет внедрения в решетку MgO, увеличивают уровень Ферми, что приводит к частичной диспергации кристаллов MgO. Последнее должно привести к увеличению ζ -потенциала суспензии, а значит и к повышению ее устойчивости, а также к закономерной интенсификации процесса гидратации.

Отмеченная выше дефектность структуры образцов MgO (2–4) влияет на поверхностный заряд продуктов гидратации (частиц Mg(OH)₂) в исследуемой суспензии, что следует из значений электрокинетического потенциала ζ (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Влияние типа образца MgO на ζ – потенциал суспензии Mg(OH)₂ (концентрация твердой фазы – 40 г MgO в 1 л H₂O)

	Без добавок (эталон)	Добавки, вносимые в MgCO ₃ , перед его обжигом (1 % от массы MgO)			
		B ₂ O ₃ , обр. №4	Cr ₂ O ₃ , обр. №3	Обр. № 2	Обр. № 1
Среднее значение ζ -потенциала, мВ	11,2	18,6	20,1	19,3	10,2

Анализ полученных экспериментальных данных (см. табл. 2) показывает, что у суспензий Mg(OH)₂, полученных гидратацией MgO с дефектной структурой, потенциал выше, чем у суспензий Mg(OH)₂, приготовленных из MgO со стабильной структурой. Повышение ζ -потенциала суспензии, в свою очередь, должно привести и к повышению устойчивости суспензий.

Исследуя измененные микроструктуры продуктов гидратации MgO во времени при интенсивном перемешивании, можно прийти к заключению, что при гидратации образцов 2–4 MgO вначале происходит хемосорбция, затем диспергация частиц, после чего следуют их укрупнение и формирование в стабильную структуру (рис. 1). Это видно из электронограмм (рис. 2), где твердая фаза суспензии после 25 мин перемешивания имеет рыхлую рентгеноаморфную структуру (электронограмма размыта), а после 40 мин перемешивания частицы твердой фазы становятся более крупными. При этом, в период, когда наблюдается максимальная диспергация частиц – 20...25 мин перемешивания, четко наблюдается и максимальная адгезия водной суспензии MgO к поверхности электротехнической стали. Так, полученная суспензия при гидратации образцов 2–4 имеет средний размер агломератов 1,3–1,4 мкм, в то время как у образца 1–3,8 мкм, а у образца 5–6,2 мкм. При этом адгезия полученных суспензий к образцам стали после сушки покрытия при 260 °С для образца (1) составляла – 1, для образцов (2–4)–60, образца (5)–0 (цифры соответствуют количеству циклов истирания по методике, описанной выше). Адгезия покрытия после высокотемпературного обжига образцов стали в атмосфере водорода соответственно была для образца (1)–7,845·10⁴ Па, образца (5)–0,98·10⁴ Па, образцов (2–4)–7453·10⁴ Па (определение осуществлялось по усилию отрыва покрытия от стали меткой, прикрепленной на эпоксидной смоле).

Полученные данные позволяют предположить, что в процессе гидратации MgO (образец 2–4) образуется Mg(OH)₂ в мелкокристаллическом или аморфном виде с последующей тенденцией превращения в кристаллический гидроксид магния со стабильной структурой.

Анализ термоэффектов на кривых ДТА показывает, что термограммы синтезированного Mg(OH)₂ характеризуются двумя эндотермическими эффектами, величина

которых определяется временем старения $\text{Mg}(\text{OH})_2$. В аморфных образцах гидроксида магния дегидратация протекает преимущественно при температурах 100...500 °С. Кривые нагревания других образцов отражают, очевидно, совместное присутствие аморфного и кристаллического $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

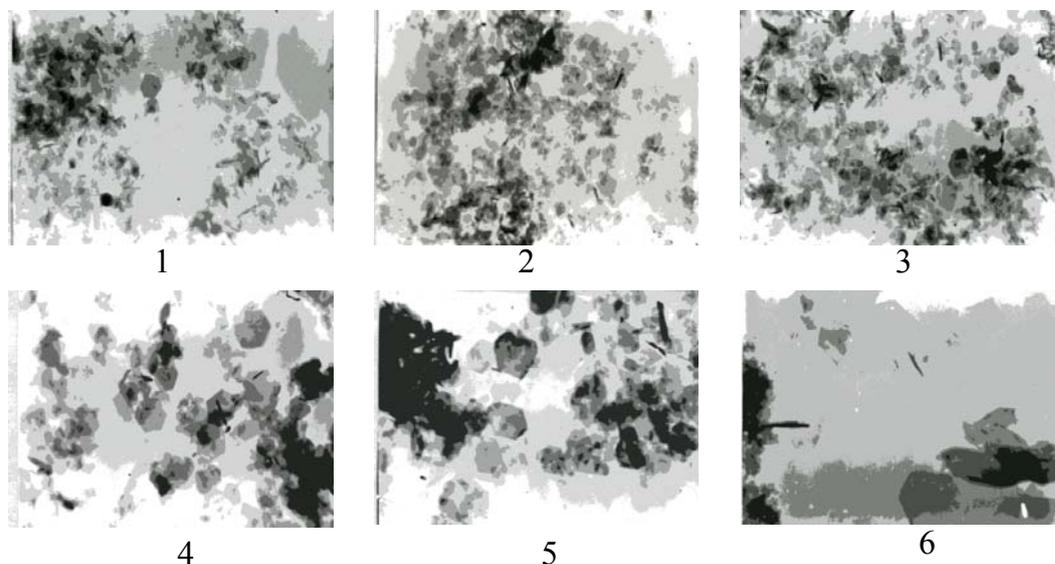


Рис. 1. Микрофотографии продуктов гидратации MgO (образец 2) во времени:
1 – 5 мин; 2 – 15 мин; 3 – 40 мин; 4 – 5 мин; 5 – 40 мин; 6 – 40 мин

Увеличение: 1, 2, 3 – $\times 10000$; 4, 5 – $\times 22000$; 6 – $\times 50000$.

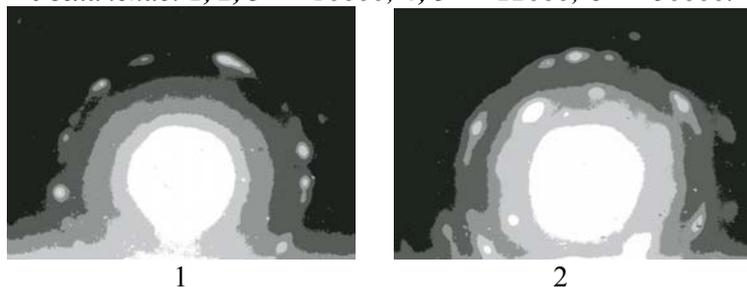


Рис. 2. Электронограммы продуктов гидратации MgO (образец 2):
1 – 25 мин; 2 – 40 мин

Кроме того, термоэффекты позволяют установить, что в начальный момент гидратации (15 мин) вода имеет слабую связь с MgO , о чем свидетельствует интервал температур ее выделения (180 °С). При более длительной гидратации (30 мин) вода связывается с MgO более прочно, образуя при этом $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в аморфном виде, температура дегидратации которого составляет 180 и 260 °С. И, наконец, обезвоживание гидроксида магния со стабильной кристаллической решеткой происходит при 460 °С.

Полученные данные о связи воды в процессе гидратации MgO подтверждаются анализом спектров ИК и ЯМР. В ИК-спектрах поглощения аморфного $\text{Mg}(\text{OH})_2$ присутствуют полосы поглощения с максимумами при 3400 и 1645 см^{-1} , относящиеся к валентным и деформационным колебаниям молекул воды. Характерно, что в области 3600–3800 см^{-1} отсутствуют селективные полосы поглощения. Аналогичный характер ИК-спектров наблюдается для аморфных гидроксидов алюминия, циркония, ниобия и др.

Постепенное упорядочение структуры $\text{Mg}(\text{OH})_2$ выражается в появлении узкой и сильной полосы поглощения при 3700 см^{-1} , характерной для валентных колебаний ОН-групп, интенсивность которой заметно возрастает по мере увеличения продолжительности гидратации. При этом в ИК-спектрах сохраняется широкая полоса при 3200–3600 см^{-1} . Присутствие во всех спектрах широкой полосы при 1060 см^{-1} можно,

вероятно, приписать деформационным колебаниям ОН-групп, соединённых водородными связями.

Характер изменений интенсивности сигналов в спектрах ЯМР также свидетельствует об образовании $Mg(OH)_2$ в мелкокристаллическом или аморфном виде, который по мере дальнейшей гидратации приближается к $Mg(OH)_2$ со стабильной структурой, а следовательно, и к минимальной удельной поверхности (рис. 3). Это утверждение согласуется с известным выводом о том, что по величине интенсивности сигнала можно качественно описать изменение удельной поверхности твердого тела.

Очевидно, что кристаллы $Mg(OH)_2$, полученные из образцов (2–4), весьма малы (100–1000 Å). Поэтому гидроксид магния, состоящий из мелких кристаллов, характеризуется относительно высоким влагосодержанием – 78...80 %. Для суспензии $Mg(OH)_2$, состоящей из более крупных кристаллов (образец 1-5), характерно уменьшение влагосодержания осадка до 45–50 %, что хорошо согласуется с известными литературными данными и еще раз подтверждает то, что в процессе гидратации MgO вначале происходит диспергация частиц, а затем намечается склонность к агрегации кристаллов, т.е. влагосодержание осадка $Mg(OH)_2$ определяется поверхностью кристаллитов.

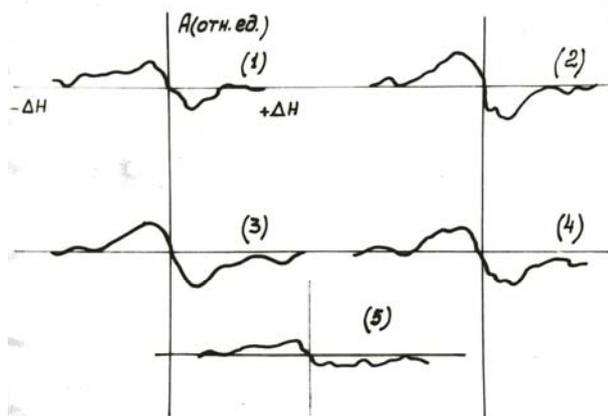


Рис. 3. Спектры ЯМР продуктов гидратации MgO (образец 2):
1 – τ гидратации = 15 мин; 2 – τ гидратации = 25 мин; 3 – τ гидратации = 30 мин;
4 – τ гидратации = 40 мин; 5 – эталон

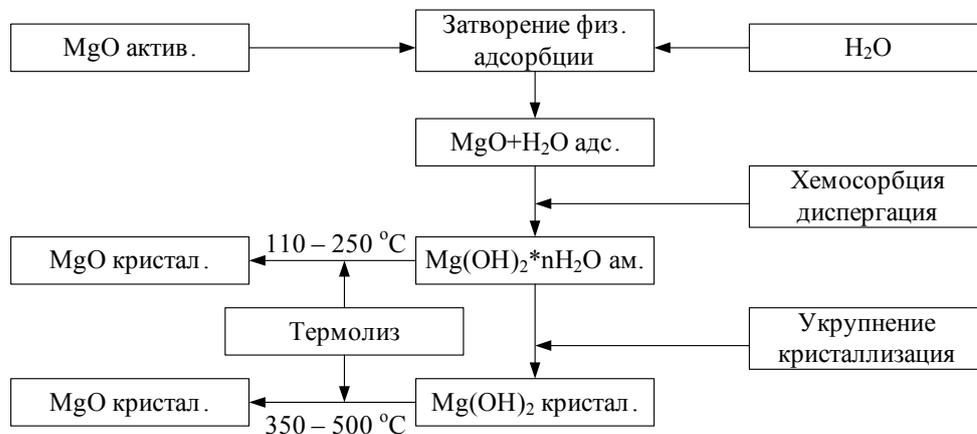
Кроме влагосодержания, адгезии и диаметра агломератов, суспензии характеризовались равновесным объемом, значением pH воды над осадком, концентрацией ионов магния в водах над осадками и соответственным содержанием сухого вещества при сушке суспензии в интервале температур 130–145 °С. Для определения изменения равновесного объема 30 мл суспензии помещали в цилиндр на 250 мл, доводили дистиллированной водой с температурой 8 и 21 °С до метки, перемешивали и оставляли стоять одни сутки, трое и шесть суток, наблюдая при этом за изменением объема.

Как показали наблюдения, в процессе гидратации происходит изменение pH раствора, концентрации ионов магния и содержания сухого вещества. Что же касается изменения равновесного объема, то последний достигает своего максимального значения в период 20–25 мин гидратации, т.е. в период максимальной диспергации частиц, когда наблюдается и повышенная адгезия покрытия к стали для образцов 2–4.

Характерно, что объем, занимаемый гидроксидом магния, при выдержке в течение 3 и 6 сут сильно уменьшается, т.е. $Mg(OH)_2$ претерпевает кристаллизационное старение, связанное с постепенным увеличением размеров кристаллов. Об этом свидетельствует также полуширина линий интерференции дифрактограмм продуктов гидратации MgO , снятых через 1 сутки после получения, то есть при увеличении длительности взаимодействия наблюдается закономерное увеличение высоты максимумов рефлексов и уменьшение их полуширины. Полуширина дифракционных максимумов, близкая к бруситу и характеризующая высокую степень упорядоченности, достигается при продолжительности гидратации 40–50 мин. Таким образом, на основании вышеизложенного и учитывая то, что MgO имеет растворимость (0,006 г/дм³) меньшую, чем

растворимость $Mg(OH)_2$ ($0,009 \text{ г/дм}^3$), можно считать, что механизм гидратации через стадию растворения с последующей кристаллизацией $Mg(OH)_2$ из раствора практически исключен. С известной степенью достоверности можно предположить, что процесс образования $Mg(OH)_2$ проходит через стадию образования аморфного гидроксида магния.

Механизм образования аморфного гидроксида магния, его старения и термолиза реализуется по следующей схеме:



Другими словами, вначале процесс гидратации идет через стадию адсорбции. Длительность этой стадии определяется активностью MgO , т.е. величиной удельной поверхности и дефектности кристаллической решетки MgO . Затем идет интенсивное выделение тепла с образованием промежуточных структур в мелкокристаллическом или аморфном виде. И, наконец, наступает перенасыщение раствора частицами аморфного гидроксида магния с последующей их перекристаллизацией в стабильную структуру $Mg(OH)_2$ -кристалл. При этом каждой стадии процесса соответствуют определенная длительность во времени и физико-химические свойства продуктов гидратации.

Известно, что снижение температуры сушки и дегидратации суспензии для полного удаления свободной и выделения связанной воды, является одним из основных условий получения высококачественного покрытия. Поэтому применение активированного оксида магния открывает возможности значительного повышения качества покрытия за счет снижения температуры его сушки перед высокотемпературным отжигом до $260 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таким образом, наряду с оптимальными условиями процесса гидратации при получении термостойкого покрытия, установлена возможность снижения температуры его сушки перед отжигом. Проведенные исследования позволяют рекомендовать оптимальные режимы гидратации модифицированного MgO , а также сушки и дегидратации полученной суспензии $Mg(OH)_2$, нанесенной в виде покрытия при температуре до $250 \text{ }^\circ\text{C}$ с последующим отжигом, как способ получения термостойкого покрытия.

Литература

1. Шапоров, В.П Теоретическое обоснование организации процесса получения магниезальных гидросуспензий для строительной промышленности [Текст] / В.П. Шапоров, В.Г. Камбург, И.В. Питак // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №11. – С. 24.

Referens

1. Shaporev, V.P. theoretical basis for organizing the process of obtaining magnesia gidrosuspenzy for the construction industry [Text] / V.P. Shaporev, V.G. Kamburg, I.V. Pitak // Regional architecture and engineering. – 2011. – №11. – P24.

УДК 666.972.16

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Коровкин Марк Олимпиевич,
старший преподаватель и соискатель
кафедры «Технология бетонов, керамики
и вяжущих»

Тел.: 8-937-430-95-70

E-mail: m_korovkin@mail.ru

Калашников Владимир Иванович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология бетонов, керамики и
вяжущих», заслуженный деятель науки РФ

Тел.: 8-841-242-58-25

E-mail: kalashnikov_vi@mail.ru

Penza State University of Architecture
and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Korovkin Mark Olimpiyevich,
Senior lecturer and researcher of the
department of «Technology of concrete,
ceramics and binding materials»

Tel.: +7-937-430-95-70

E-mail: m_korovkin@mail.ru

Kalashnikov Vladimir Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Technology of concrete,
ceramics and binding materials», Honored
worker of a science of the Russian Federation

Tel.: +7-841-242-58-25

E-mail: kalashnikov_vi@mail.ru

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА В БЕТОНЕ

М.О. Коровкин, В.И. Калашников

Изучена эффективность суперпластификаторов в бетонах различного состава и удобоукладываемости для повышения срока их эксплуатации. Установлено, что для исследованной добавки увеличение расхода цемента обеспечивает более высокую долговечность. Рост стоимости материала компенсируется значительным повышением его долговечности.

Ключевые слова: бетон, ресурсосбережение, суперпластификатор, долговечность.

DURABILITY EFFECT OF A SUPERPLASTICIZER IN CONCRETE

M.O. Korovkin, V.I. Kalashnikov

The authors have researched superplasticizers efficiency in concretes of different composition and their workability to raise their term of usage. It is found that for the researched additive the increased use of cement guarantees higher durability. Increased material cost is compensated by significant durability raise.

Keywords: concrete, resources saving, superplasticizer, durability.

Опыт использования суперпластификаторов (СП) в технологии бетона показал, что эта группа добавок обладает большим ресурсосберегающим потенциалом, который может быть реализован различными способами: за счет снижения расхода наиболее ресурсоемкого компонента бетона – цемента, за счет повышения прочности бетона, а также за счет увеличения его долговечности.

Использование СП для снижения расхода цемента в бетоне было основной задачей исследований на начальных этапах промышленного применения этой добавки в условиях дефицита портландцемента. Производственные испытания показали, что введение СП в состав бетона для экономии вяжущих в большинстве случаев не оправданно с технической и экономической точки зрения.

Разработанные в последние годы новые виды СП позволили создать технологии получения бетона с прочностью 100–200 МПа. Однако бетоны с такими высокими характеристиками пока не находят практического применения. Эта ситуация связана с отсутствием у инженеров-проектировщиков понимания того, как рационально использовать материал с такими свойствами. Очевидно, что потребуется немало времени для поиска новых видов строительных конструкций, зданий и сооружений, в которых применение бетонов с уникальными характеристиками будет оправданным.

Значительно больший ресурсосберегающий эффект от использования СП в бетоне может быть достигнут за счет увеличения срока его эксплуатации. С учетом того что

разрушение бетона происходит чаще не в результате силового, а из-за коррозионного, в частности морозного воздействия, снижение проницаемости бетона позволяет во много раз повысить срок эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций.

Разработка и широкое внедрение в производство бетонов СП, позволяющих на 20-40 % снизить водопотребность бетонной смеси, открыли новые возможности для повышения долговечности бетона. Применение СП – один из ключевых элементов в реализации и развитии концепции [1] высококачественных бетонов (High Performance Concrete – НРС) – бетонов с высокими удобоукладываемостью, долговечностью, прочностью и другими технологическими и эксплуатационными свойствами. Такие бетоны получают за счет использования бетонных смесей с водоцементным отношением ниже 0,4.

Морозная и коррозионная стойкость бетонов зависит от многих параметров состава бетона и условий его эксплуатации, но основным фактор, определяющий эти свойства, – капиллярная пористость, зависящая от водоцементного отношения бетонной смеси. С учетом этого, оценка ресурсосберегающего эффекта СП производилась нами исходя из требований [2] к максимальным значениям водоцементных отношений бетонов с заданными морозостойкостью V/C_F и водонепроницаемостью V/C_W , которые могут быть описаны следующими выражениями:

$$V/C_F = 0,65 - 0,0005 \cdot F;$$

$$V/C_W = 1/(0,9 + 0,6 \cdot \ln(W)),$$

где F и W – морозостойкость и водонепроницаемость бетона, соответственно.

Для исследования водоредуцирующего и ожидаемого ресурсосберегающего эффекта от введения 1 % суперпластификатора С-3 в бетонах различного состава нами определялась зависимость удобоукладываемости бетонной смеси от водоцементного отношения. В эксперименте исследовались составы бетона с постоянным отношением песок – щебень, которое равнялось 2. Отношение щебень:цемент (m) изменялось в интервале от 1 до 3,5. Для приготовления бетонных смесей использовался цемент ПЦ 400 Д0 ОАО «Вольскцемент», песок с $M_k = 2,07$ и гранитный щебень фракции 5–10 мм.

В ходе эксперимента готовились бетонные смеси с различной удобоукладываемостью за счет варьирования расхода воды. Удобоукладываемость бетонной смеси определялась по осадке стандартного конуса. Графики зависимости водоцементного отношения равноподвижных составов от расхода крупного заполнителя для пластифицированных и бездобавочных бетонных смесей с различной осадкой конуса приведены на рис. 1.

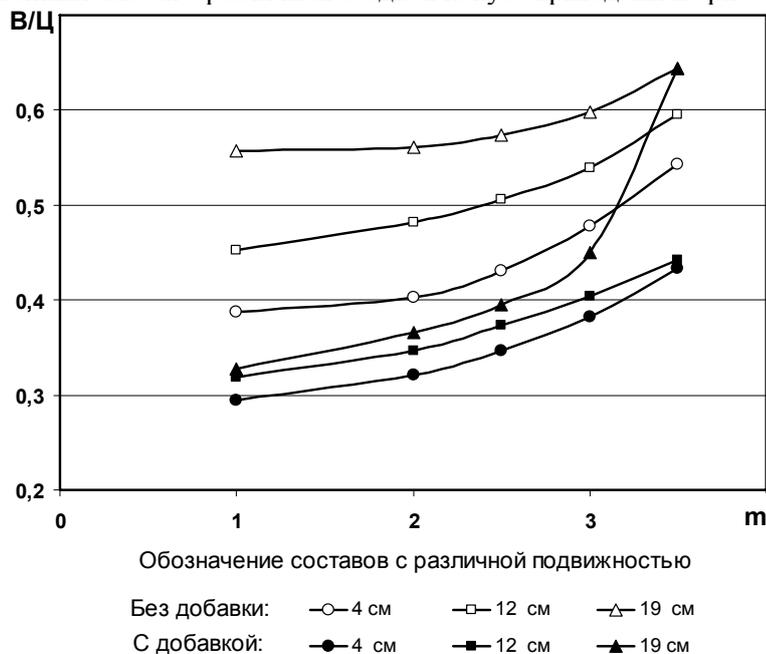


Рис. 1. Зависимость водопотребности бетонной смеси с различной подвижностью от содержания крупного заполнителя m

По полученным зависимостям рассчитывались ожидаемые значения морозостойкости и водонепроницаемости, а также значения коэффициентов повышения этих характеристик бетона за счет введения СП. Результаты расчетов значений этих показателей от содержания в бетоне крупного заполнителя представлены на рис. 2.

Как видно из рис. 2, наибольшее повышение морозостойкости и водонепроницаемости в сравнении с бездобавочными составами бетона ожидается в составах с увеличенной подвижностью и пониженным содержанием крупного заполнителя. Однако наибольшие значения эти характеристик бетона могут быть получены в малоподвижных бетонах с повышенным расходом цемента. Увеличение содержания в бетоне крупного заполнителя существенно снижает водоредуцирующую и ресурсосберегающую эффективность СП.

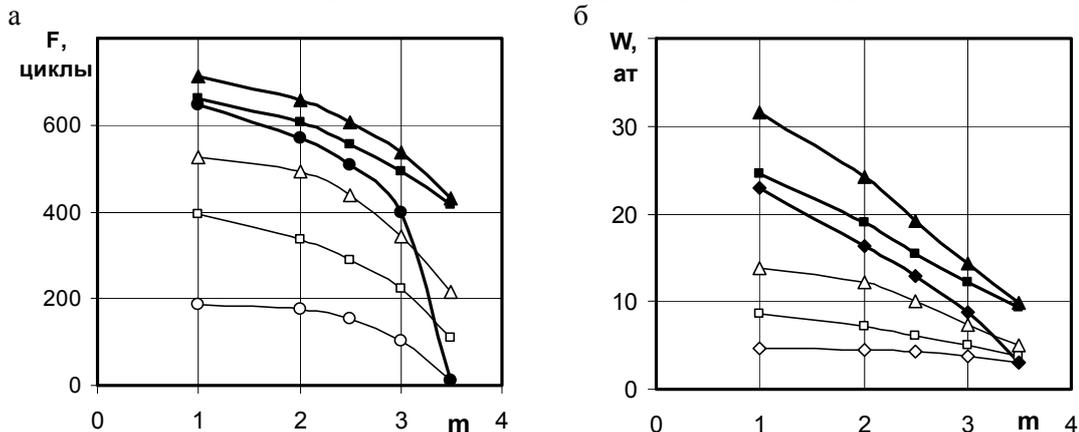


Рис. 2. Ожидаемые значения морозостойкости (а), водонепроницаемости (б) для бетонов с различной осадкой конуса:
 ◇ – 4 см; □ – 12 см; △ – 20 см (незатемненные значки – контрольные составы, затемненные – с добавкой СП)

Сопоставляя зависимость стоимости бетона заводского производства различного состава с экономическим эффектом, который может быть получен за счет прогнозируемого роста срока службы для составов с различным содержанием в бетоне щебня изверженных пород, можно сделать вывод об обоснованности увеличения расхода цемента в составах с низким содержанием щебня. При увеличении стоимости бетона на 8–10 % и уменьшении расхода крупного заполнителя m от 3,5 до 1 прогнозируемый срок службы бетона возрастает в 1,5–2 раза.

Закключение

Применение в производстве бетонов суперпластификаторов может дать значительный экономический и ресурсосберегающий эффект за счет увеличения срока службы бетонных и железобетонных конструкций. Снижение расхода заполнителя и повышение расхода цемента позволят увеличить срок службы бетона за счет получения цементного камня с низкой капиллярной пористостью.

С учетом отсутствия у производителей бетона и строителей реальной материальной заинтересованности в повышении срока службы их продукции необходимо ввести в нормативные документы более высокие требования к долговечности бетона.

Список литературы

1. Баженов, Ю.М. Новый век: новые бетоны и технологии [Текст] / Ю.М. Баженов, В.Р. Фаликман // Тр. 1-й Всерос. конф. по бетону и железобетону (Москва, 9-14 сентября 2001 г.). – М.: НИИЖБ, 2001. – Т. 1. – С. 91–101.
2. Руководство по подбору составов тяжелого бетона [Текст] / НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1979. – 103 с.

References

1. Bazhenov, Yu.M. New century: new concretes and technology / Yu.M. Bazhenov, V.R Falikman // Proceedings of reports 1st All-Russian Conference on Problems of concrete and reinforced concrete, Moscow, September 9-14. – М.: NIIZhB. 2001. – Т.1. – P. 91–101.
2. Guidelines for heavy concretes composition seletion / NII Concrete and reinforced concrete Gosstroj USSR. – М.: Strojizdat, 1979. – 103 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Ерошкина Надежда Александровна,
соискатель и старший лаборант кафедры
«Технология бетонов, керамики и
вяжущих»

Тел.: 8-927-094-10-08

E-mail: n_eroshkina@mail.ru

Калашников Владимир Иванович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология бетонов, керамики и
вяжущих», заслуженный деятель науки РФ
Тел.: 8-841-242-58-25

E-mail: techbeton@pguas.ru

Коровкин Марк Олимпиевич,
старший преподаватель и соискатель
кафедры «Технология бетонов, керамики
и вяжущих»

Тел.: 8-937-430-95-70

E-mail: m_korovkin@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Eroshkina Nadezhda Aleksandrovna,
Senior laboratory assistant and Researcher of
the department of «Technology concrete,
ceramics and binding materials»

Tel.: +7-927-094-10-08

E-mail: n_eroshkina@mail.ru

Kalashnikov Vladimir Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Technology of concrete,
ceramics and binding materials», Honored
worced of a science of the Russian Federation
Tel.: +7-841-242-58-25

E-mail: techbeton@pguas.ru

Korovkin Mark Olimpievich,
Senior lecturer and researcher of the
department of «Technology of concrete,
ceramics and binding materials»

Tel.: +7-937-430-95-70

E-mail: m_korovkin@mail.ru

ВЯЖУЩЕЕ, ПОЛУЧЕННОЕ ИЗ МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД С ДОБАВКОЙ ШЛАКА, И БЕТОН НА ЕГО ОСНОВЕ

Н.А. Ерошкина, В.И. Калашников, М.О. Коровкин

Приведены результаты исследования физико-механических свойств минерально-щелочного вяжущего с добавкой доменного шлака, а также тяжелого бетона на его основе. Представлена оценка влияния различных факторов на прочность, усадку, водостойкость, водопоглощение минерально-щелочного вяжущего.

Ключевые слова: бетон, минерально-щелочное (геополимерное) вяжущее, магматические горные породы, отходы добычи, доменный шлак.

A BINDER FROM MAGMATIC ROCKS WITH ADDITION OF SLAG AND CONCRETE ON ITS BASIS

N.A. Eroshkina, V.I. Kalashnikov, M.O. Korovkin

The authors give the research results of physical and mechanical properties of a mineral-alkaline binder with blast furnace slag addition and heavy concrete based on it. It was established that the additives content and grinding fineness have a significant impact on the strength of the binder.

Keywords: concrete, mineral-alkaline (geopolymer) binder, magmatic rocks, mining waste, blast furnace slag.

Портландцемент является доминирующим вяжущим в технологии бетонов, производство которого сопряжено с высокими затратами энергии, топлива и колоссальными выбросами углекислого газа. В связи с повышением роли экологических, в том числе энерго- и ресурсосберегающих факторов, возрастает интерес исследователей и специалистов промышленности к безобжиговым вяжущим: шлакощелочным, минерально-шлаковым, геосинтетическим и геополимерным.

В промышленном производстве широко применяются шлакощелочные вяжущие, разработанные В.Д. Глуховским и его последователями [1]. Однако, вследствие неко-

торых недостатков (нестабильность характеристик сырья и готовой продукции, низкая трещиностойкость), эти материалы не получили повсеместного распространения.

Технология геополимеров, предложенная Дж. Давидовичем, намного менее энергоемка, чем производство портландцемента, но все же требует термической активации алюмосиликатного сырья при температуре 700...900 °С [2].

Значительный прогресс в развитии бесклинкерных вяжущих был достигнут при разработке геосинтетических твердеющих систем на основе силицитовых горных пород с добавкой доменного шлака в количестве 10 % [3]. Температура синтеза у геосинтетических вяжущих (200...300 °С) намного ниже, чем у геополимеров [3]. Геосинтетические вяжущие, полученные с применением осадочных горных пород, часто имеют низкие темпы твердения, пониженную водостойкость и др. [3].

Установлено [4], что на основе наиболее распространенных в земной коре магматических горных пород с добавкой доменного шлака и щелочного активатора могут быть получены вяжущие, по некоторым характеристикам сопоставимые с портландцементом. Для практического использования этой новой разновидности вяжущего необходимо исследование зависимости основных характеристик этих материалов от состава и технологических факторов.

При изготовлении вяжущего использовались измельченные магматические горные породы (гранит Павловского месторождения, Орский диабаз, базальт и перидотит уральских месторождений) и доменный шлак Новолипецкого металлургического комбината. Для активизации процесса твердения вводился с водой затворения щелочной активатор. Во всех составах вяжущего содержание щелочи NaOH составляло 6 %, а воды – 36 % от массы вяжущего. В качестве мелкого заполнителя использовался Сурский кварцевый песок с модулем крупности 1,5, а в качестве крупного – гранитный щебень Хребетского месторождения фракции 5–10 мм.

Исследование прочности при сжатии $R_{сж}$, водопоглощения W и водостойкости K_p проводилось на образцах размером 20×20×20 мм, а усадки вяжущих – на образцах размером 20×20×100 мм. Смеси уплотнялись в формах на лабораторной виброплощадке. Образцы вяжущего испытывались в возрасте 3 и 28 суток твердения в нормально-влажностных условиях и после тепловой обработки (ТВО) по режиму: 3 часа – подъем и 8 часов – выдержка при 80 °С. Образцы испытывали через 16 часов после окончания изотермической выдержки. Для определения водопоглощения и водостойкости образцы выдерживали в течение 60 суток в воде.

В таблице приведены составы и свойства вяжущих, изготовленных с добавкой доменного шлака в количестве 10 и 25 %.

Свойства минерально-щелочных вяжущих на основе различных горных пород

№ п/п	Состав вяжущего		Прочность, МПа, после		После выдерживания в воде		Усадка, мм/м, через	
	Порода	Шлак, %	ТВО	28 сут	K_p	W , %	28 сут	60 сут
1	Гранит	10	18,6	18,8	0,65	7,4	0,9	0,95
2		25	72	70	1,1	9,8	1,1	1,2
3	Диабаз	10	22	20	0,62	7,5	1,93	2,0
4		25	59	62,5	1,05	10,1	2,4	2,45
5	Базальт	10	21,6	24	0,68	6,2	1,3	1,36
6		25	61	65,8	1,32	6,6	1,5	1,7
7	Перидотит	10	24	27	0,72	8,5	1,5	1,6
8		25	66	59	1,26	11,6	1,7	1,8

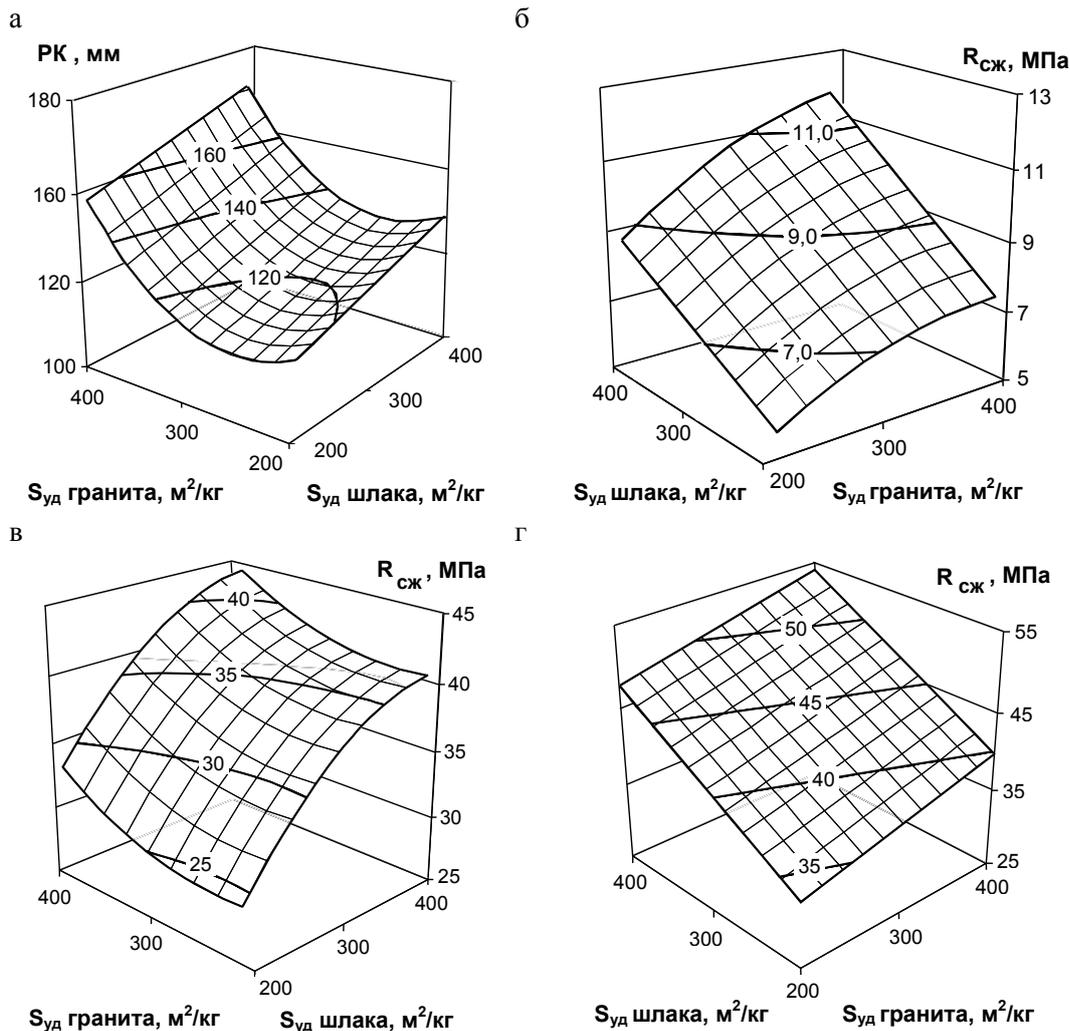
Анализ табличных данных показывает, что повышение расхода шлака от 10 до 25 % приводит к значительному росту прочности вяжущих – в 2,2...3,9 раза. Кроме того, с увеличением доли шлака в вяжущем повышается водостойкость вяжущего – значение коэффициента K_p возрастает с 0,62...0,72 до 1,05...1,32, что позволяет

сделать вывод о том, что, увеличивая расход шлака, можно перевести вяжущие из воздушных в гидравлические.

Усадочные деформации исследованных вяжущих сопоставимы с усадкой портланд-цемента. Наименьшая усадка характерна для вяжущих на основе гранита и базальта.

Для выявления зависимости свойств вяжущего от дисперсности компонентов применялось математическое планирование эксперимента. В качестве варьируемых факторов принята удельная поверхность ($S_{уд}$) шлака и гранита (значения факторов на основном уровне – 300, а интервалы варьирования – 100 м²/кг).

Удобокладываемость минерально-щелочного вяжущего определялась по расплыву смеси на встряхивающем столике по ГОСТ 310.4. Повышение удельной поверхности гранита от 200 до 300 м²/кг почти не влияет на консистенцию смеси (см. рисунок, а), а дальнейшее ее увеличение до 400 м²/кг способствует значительному улучшению консистенции смеси.



Влияние удельной поверхности компонентов вяжущего на расплыв смеси (а), прочность через 3 суток (б), через 28 суток (в) и после тепловой обработки (г)

На процесс твердения вяжущего наибольшее влияние оказывает дисперсность шлака (см. рисунок, б-г). На 3-и сутки (см. рисунок, б) при использовании грубомолотого гранита и тонкодисперсной добавки шлака возможно получение вяжущего прочностью 9...11 МПа. С увеличением удельной поверхности горной породы до 325...400 м²/кг прочность вяжущих возрастает до 13 МПа. На 28-е сутки прочность в зависимости от дисперсности шлака и гранита варьируется от 23,8 до 41,5 МПа. Тепловая обработка позволяет на 24...30 % повысить прочность вяжущих, по сравнению с прочностью аналогичных составов, достигнутой на 28-е сутки твердения в нормальных условиях.

Проведенные исследования показали, что повышение удельной поверхности измельченных гранита и шлака с 200 до 400 м²/кг позволяет увеличить прочность минерально-щелочного вяжущего через 3 суток твердения в нормальных условиях в 2 раза. Через 28 суток твердения и после тепловлажностной обработки дисперсность гранита оказывает незначительное влияние на прочность вяжущего, а при $S_{уд}$, равной 400 м²/кг, прочность возрастает всего на 40...45 %.

При изготовлении тяжелого бетона применялось минерально-щелочное вяжущее на основе гранита и добавки шлака, обладающее наилучшими техническими свойствами. Был получен состав бетона со следующим расходом компонентов: гранит молотый – 288 кг/м³, шлак – 91 кг/м³, щелочь – 21,3 кг/м³, щебень – 1216 кг/м³, песок – 692 кг/м³, вода – 157 л/м³.

Для исследования прочности при сжатии и изгибе, а также усадки бетона были заформованы образцы размерами 40×40×160 мм, которые твердели при тепловой обработке.

Бетон, изготовленный на основе минерально-щелочного вяжущего, имел прочность при сжатии и изгибе соответственно 48 и 6 МПа, а его усадка при высыхании в течение 28 дней составляла 0,45 мм/м. По прочности разработанный бетон соответствует классу В40.

Таким образом, вяжущие на основе измельченных магматических горных пород и доменного шлака при щелочной активации имеют высокую прочность, водостойкость при низких значениях усадки и водопоглощения.

Эффективным способом увеличения активности и водостойкости вяжущего является увеличение в его составе добавки шлака с 10 до 25 %.

На основе исследованных вяжущих можно получить бетон, не уступающий по своим характеристикам бетону, изготовленному с применением портландцемента. Использование минерально-щелочных вяжущих позволит отказаться от портландцемента, производимого по энерго- и ресурсоемким технологиям. При этом при получении таких вяжущих могут найти применение многотоннажные отходы добычи и переработки магматических горных пород, складываемые в настоящее время в отвалы и хвостохранилища.

Список литературы

1. Глуховский, В.Д. Производство бетонов и конструкций на основе шлакощелочных вяжущих [Текст] / В.Д. Глуховский [и др.]. – Киев: Будівельник, 1988. – 144 с.
2. Davidovits, J. Chemistry of Geopolymeric Systems Terminology [Text] / J. Davidovits // Geopolymer 1999. – Saint-Quentin, France. – P. 9–40.
3. Калашников, В.И. Модификация геосинтетических вяжущих [Текст] / В.И. Калашников, В.Ю. Нестеров, Ю.В. Гаврилова, Ю.С. Кузнецов // Изв. ТулГУ. Сер. Строительные материалы, конструкции и сооружения. – Тула: ТулГУ, 2006. – Вып.9. – С. 115–120.
4. Ерошкина, Н.А. Перспективность горных пород в качестве сырья для производства геополимеров в зависимости от их генезиса [Текст] / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, А.А. Мишанов, В.Я. Кудашов // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: сб. материалов МНТК. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2007. – С. 92–96.

References

1. Glukhovsky, V D. The manufacture of concretes and structures on the basis of slag-alkaline binders [Text] / V.D. Glukhovsky, P.V. Krivenko, G.V. Rumyna, V.L. Gerasimchuk. – Kiev: Budivelnik, 1988. – 144 p.
2. Davidovits, J. Chemistry of Geopolymeric Systems Terminology [Text] / J. Davidovits // Geopolymer 1999. – Saint-Quentin, France. – P. 9–40.
3. Kalashnikov, V.I. Modification of geosynthetic binders [Text] / V.I. Kalashnikov, V.Yu. Nesterov, Yu.V. Gavrilova, Yu.S. Kuznetsov // Proceedings of the Tula State University. Seria «Building materials, design and construction». – Tula: State University, 2006. – Issue. 9. – P. 115–120.
4. Eroshkina, N.A. Advantages of using rocks as raw material for production of geopolymers depending on their genesis [Text] / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin, A.A. Mishanov, V.J. Kudashov // Proceedings of the International science conference «Composite building materials. Theory and Practice». – Penza: Privolzhskij dom znaniy, 2007. – P. 92–96.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Логанина Валентина Ивановна,
доктор технических наук, профессор, зав.
кафедрой «Стандартизация, сертификация
и аудит качества»
E-mail: loganin@mai.ru

Макарова Людмила Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Стандартизация, сертификация и
аудит качества»
E-mail: Mak.78_08@inbox.ru

Папшева Кристина Анатольевна,
аспирант кафедры «Стандартизация,
сертификация и аудит качества»
E-mail: papsheva.ka@gmail.com

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Loganina Valentina Ivanovna,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Standardization, certification and
quality audit »
E-mail: loganin@mai.ru

Makarova Ludmila Victorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Standardization,
certification and quality audit»
E-mail: Mak.78_08@inbox.ru

Papsheva Kristina Anatol'evna,
Postgraduate of the department
«Standardization, certification and quality audit »
E-mail: papsheva.ka@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА СИЛИКАТНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ИЗВЕСТКОВЫХ ОТДЕЛОЧНЫХ СОСТАВОВ*

В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Папшева

Приведены сведения о влиянии технологии получения тонкодисперсных наполнителей на основе силикатов кальция на реологические свойства известковых смесей. Установлены закономерности влияния условий синтеза на гранулометрический состав получаемых наполнителей. Выявлен фазовый состав наполнителей на основе силикатов кальция.

Ключевые слова: силикаты кальция, известковая смесь, наполнители, пластическая прочность, гранулометрический состав.

INFLUENCE OF SILICATE FILLERS SYNTHESIS TECHNOLOGY ON LIMY FINISHING STRUCTURES PROPERTIES

V.I. Loganina, L.V. Makarova, K.A. Papsheva

The authors provide information on the technology of getting fine fillers on the basis of calcium silicates and its influence on lime mixtures rheological properties. They have determined synthesis conditions influence on fillers granulation and revealed the phase composition of calcium silicates fillers.

Keywords: calcium silicate, lime mixture, fillers, plastic strength, granulation.

Известно, что свойства сухих строительных смесей (ССС) в числе других факторов определяются видом и свойствами применяемых наполнителей [1]. За последние годы при разработке отделочных материалов вырос интерес к наполнителям, содержащим силикаты кальция [2]. Стойкость сухих известковых строительных смесей, применяющихся при реставрации зданий исторической застройки, определяется также и химическим взаимодействием наполнителя и известки. Нами при разработке СССР для

* Работа выполнялась в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (госконтракт с Федеральным агентством по образованию РФ № П1456).

реставрации зданий и сооружений предлагаются составы с применением наполнителей на основе силикатов кальция, полученных по энергосберегающей технологии [3]. Технология заключается в гидрохимическом синтезе из жидкого стекла в присутствии добавки-осадителя (CaCl_2) с последующим высушиванием осадка и его измельчением. Количество добавки-осадителя CaCl_2 рассчитывалось исходя из стехиометрического соотношения, добавка CaCl_2 вводилась в виде 15 %-го раствора.

В процессе проведения эксперимента исследовалось влияние технологии синтеза наполнителя на реологические свойства смесей. Варьируемыми факторами были концентрация добавки-осадителя CaCl_2 , скорость ее введения, температура. В качестве вяжущего применяли известь-пушонку 2-го и 3-го сорта с активностью 84 и 74 %. Готовили составы с соотношением известь: наполнитель (И:Н)=1:0,3, водоизвестковое отношение В/И составляло В/И=0,7. Реологические свойства оценивались по показателю предельного напряжения сдвига, который измеряли с помощью конического пластометра КП-3. На рис. 1–3 приведены значения пластической прочности в зависимости от технологии синтеза наполнителя.

Установлено, что быстрое введение растворов добавки CaCl_2 при синтезе наполнителя способствует ускорению набора пластической прочности известковых составов (рис. 1, кривая 1). Так, пластическая прочность известкового состава (известь 2-го сорта) при применении наполнителя, полученного при быстром введении добавки CaCl_2 в виде раствора 15 %-й концентрации, в возрасте 4,5 ч составляет $\tau = 0,025$ МПа (количество добавки CaCl_2 соответствовало стехиометрическому равновесию с жидким стеклом плотностью $\rho = 1150$ кг/м³), а наполнителя, синтезированного при медленном введении добавки-осадителя $\tau = 0,017$ МПа (рис.1, кривая 2). Наполнитель, полученный при выдержке фильтрата в течение 3-х суток, способствует замедлению набора пластической прочности (рис.1, кривая 3). В возрасте 4,5 ч пластическая прочность составляет $\tau = 0,012$ МПа.

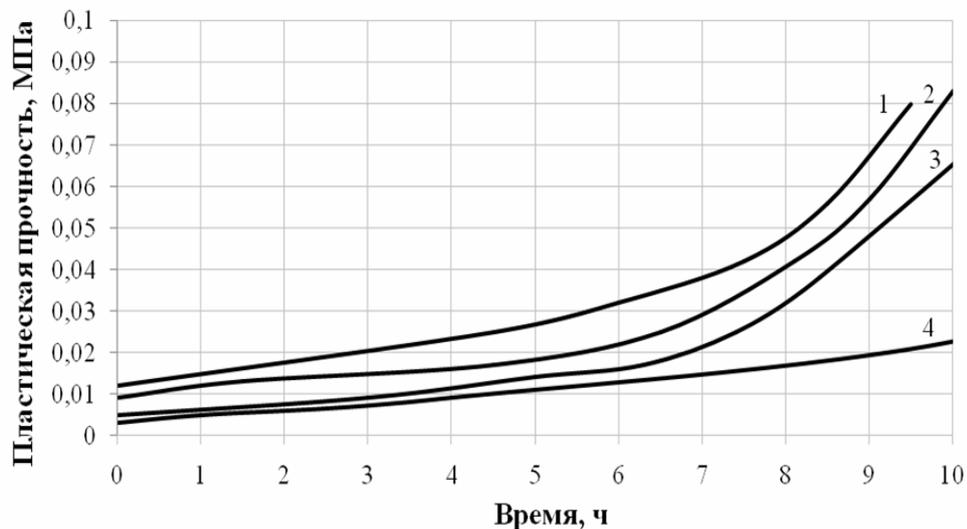


Рис.1. Изменение пластической прочности известкового состава И:Н=1:0,3 с В/И=0,7 в зависимости от вида наполнителя:

1 – наполнитель синтезирован при быстром введении добавки CaCl_2 , удельная поверхность наполнителя $S=5876$ см²/г; 2 – наполнитель синтезирован при медленном введении добавки CaCl_2 , удельная поверхность наполнителя $S=4669$ см²/г; 3 – наполнитель синтезирован при быстром введении добавки CaCl_2 и выдержан в течение 3-х суток, удельная поверхность наполнителя $S=4439$ см²/г; 4 – известковое тесто

Исследовалось также изменение пластической прочности при применении наполнителей, полученных в зависимости от количества добавки CaCl_2 . На рис. 2 (кривая 2) приведены значения пластической прочности известковых составов с наполнителем, полученным при недостатке CaCl_2 (количество добавки составляло 50 % от необходи-

мого). Известковые составы, обладая более низким значением предельного напряжения сдвига в начальный момент времени (до 2 ч), характеризуются в последующем интенсивным набором пластической прочности. В возрасте 4,5 ч пластическая прочность составляет $\tau = 0,054$ МПа, причем при увеличении содержания наполнителя в известковом составе при прочих равных условиях наблюдается более быстрый набор пластической прочности (рис.3). В возрасте 7 ч с момента затворения пластическая прочность состава 1:0,3, В/И=0,9 составила $\tau = 0,012$ МПа (рис 3, кривая 2), а состава 1:0,5, В/И=0,9...0,055 МПа (рис. 3, кривая 1).



Рис.2. Изменение пластической прочности известкового состава с В/И=0,7 в зависимости от вида наполнителя:

1 – наполнитель синтезирован при количестве добавки CaCl_2 , соответствующем стехиометрическому, И:Н=1:0,5; 2 – наполнитель синтезирован при количестве добавки CaCl_2 , соответствующем стехиометрическому, И:Н=1:0,3; 3 – наполнитель синтезирован при количестве добавки CaCl_2 50 % от необходимого, И:Н=1:0,3

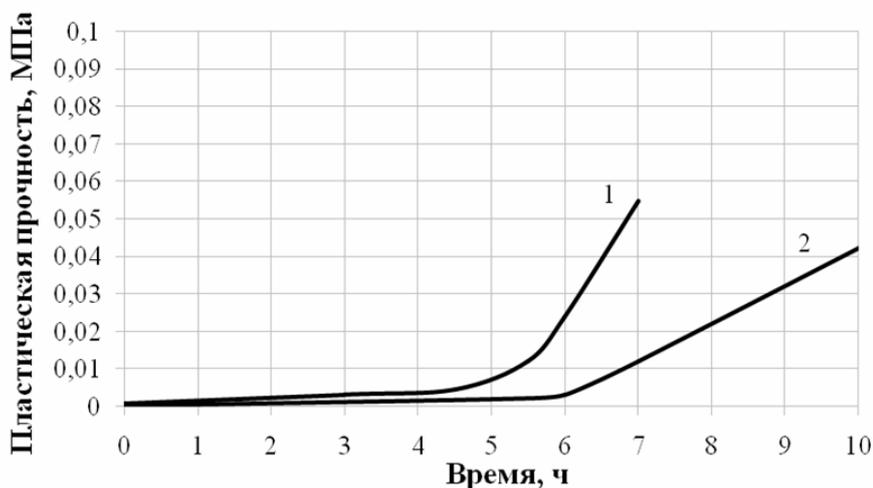


Рис.3. Изменение пластической прочности известкового состава с В/И=0,9 в зависимости от содержания наполнителя:

1 – состав И:Н=1:0,5, наполнитель синтезирован при количестве добавки CaCl_2 50 % от необходимого; 2 – контрольный состав, И:Н=1:0,3, наполнитель синтезирован при количестве добавки CaCl_2 50 % от необходимого

На наш взгляд, это объясняется влиянием в наполнителе непрореагировавшего при синтезе жидкого стекла, который в последующем дополнительно реагирует с известью с образованием гидросиликатов кальция.

О химическом взаимодействии наполнителей с известью свидетельствуют данные, полученные при рентгенофазовом анализе (РФА). Идентифицируются следующие соединения: твердый раствор $\text{CSH}(\text{B})$, твердый раствор $\text{C-S-H}(\text{I})$, гидросиликат кальция, подобный трукотиту.

Полученные значения пластической прочности и кинетика ее набора свидетельствуют, что условия синтеза наполнителя оказывают существенное влияние на формирование структуры и свойств известковых композиций. Нами был оценен гранулометрический состав полученных наполнителей с помощью автоматического лазерного дифрактометра Fritsch Particle Sizer Analysette 22 в лаборатории научно-технологического центра (НТЦ) компании Doatomit^R.

Установлено, что при медленном введении добавки-осадителя CaCl_2 (по каплям) в виде 15 %-го раствора в количестве 50 % от массы жидкого стекла (соответствует стехиометрическому равновесию) образуется небольшое число крупных частиц в осадке, что, очевидно, связано с замедленной скоростью образования зародышей кристаллов. Данные гранулометрического состава свидетельствуют, что содержание крупных частиц размером 45...100 мкм составляет 22,37 %. Среднеарифметическое значение размера частиц наполнителя составляет 29,25 мкм. При быстром введении добавки осадителя скорость образования зародышей кристаллов большая и образуется мелкодисперсный осадок, состоящий из большого числа мелких частиц. Выявлено, что среднеарифметическое значение размера частиц наполнителя составляет 28,64 мкм, при этом 35 % составляют частицы размером 15,58 мкм. Менее 5 % составляют частицы диаметром 2,95 мкм, а при медленном введении – диаметром 4,28 мкм.

Таким образом, при увеличении времени созревания осадка наблюдается рост кристаллов, удельная поверхность наполнителя составляет $S=4439 \text{ см}^2/\text{г}$. Следовательно, в зависимости от назначения ССС можно рекомендовать тот или иной способ синтеза наполнителя.

Список литературы

1. Зоткин, А.Г. Применение наполнителей в строительных смесях [Текст] / А.Г. Зоткин // Сухие строительные смеси. – 2009. – № 3. – С.66–68.
2. Пат. 2133218 Российская Федерация, МКЛ С01В33/12. Способ получения высокодисперсных порошков [Текст] / В.А. Лотов, В.И. Верещагин, В.И. Косинцев, Ю.В. Пасечников; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет.
3. Логанина, В.И. Тонкодисперсные наполнители на основе силикатов кальция для сухих строительных смесей [Текст] / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Ю.А. Мокрушина // Строительные материалы. – 2010. – №2. – С.40–42.

References

1. Zotkin, A.G. Application of fillers in building mixes [Text] / A.G. Zotkin // Dry building mixes. – 2009. – № 3. – P.66–68.
2. The patent 2133218 Russian Federation, МКЛ С01В33/12. A way of reception powders of high dispersion [Text] / V.A. Lotov, V.I. Vereschagin, V.I. Kosintsev, J.V. Pasechnikov; the applicant and the owner of patents Tomsk polytechnical university.
3. Loganina, V.I. Century and fillers of thin dispersion on the basis of silicates of calcium for dry building mixes [Text] / V.I. Loganina, L.V. Makarova, J.A. Mokrushina // building materials. – 2010. – №2. – P.40–42.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 662. 951.2

*Научно-исследовательский
Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарева*

Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, д. 24,
тел./факс: (8342) 47-71-56

Селяев Владимир Павлович,
доктор технических наук,
заведующий кафедрой «Строительные
конструкции»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Колдин Алексей Олегович,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: kao2k6@rambler.ru

Сорокин Евгений Вячеславович,
преподаватель кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: evsar@mail.ru

Селяев Павел Владимирович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Уткин Иван Юрьевич,
преподаватель кафедры «Строительные
конструкции»

*The research Mordvian State University
named
after N.P. Ogaryov*

Russia, 430000, Saransk, 24, Soviet St.,
tel./ fax: (8342) 47-71-56

Seljaev Vladimir Pavlovich,
Doctor of Sciences, Head of the department
«Building designs»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Koldin Alexey Olegovich,
Postgraduate of the department
«Building designs»
E-mail: kao2k6@rambler.ru

Sorokin Evgenie Vjacheslavovich,
The Lecturer of the department
«Building designs»
E-mail: evsar@mail.ru

Seljaev Pavel Vladimirovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building designs»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Utkin Ivan Jurevich,
The Lecturer of the department «Building
designs»

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ БЕЗ ТРЕЩИН

В.П. Селяев, А.О. Колдин, Е.В. Сорокин, П.В. Селяев, И.Ю. Уткин

Рассматривается задача оценки надежности железобетонных изгибаемых элементов, работающих без трещин, методами линеаризации и Монте – Карло. Установлено влияние расчетно-конструктивных параметров на индекс надежности. Получены данные, позволяющие по изменению индекса надежности оценивать долговечность железобетонных конструкций.

Ключевые слова: надежность, долговечность, агрессивная среда.

ESTIMATION THE RELIABILITY OF FERRO-CONCRETE BENT ELEMENTS WORKING WITHOUT CRACKS

V.P. Seljaev, A.O. Koldin, E.V. Sorokin, P.V. Seljaev, I.J. Utkin

The problem of estimation the reliability of ferro-concrete bent elements working without cracks, by linearization and Monte – Karlo methods is considered. The influence of settlement-design data on reliability index is established. The data allowing to estimate the durability of ferro-concrete designs according to reliability index change is obtained.

Keywords: reliability, durability, an excited environment.

Оценка надежности строительных конструкций – задача актуальная, и с каждым годом в связи со старением основных фондов ее значимость возрастает [1]. Решение этой задачи для железобетонных конструкций имеет свои особенности.

Железобетонные конструкции, подвергающиеся действию жидких или газообразных сред, должны работать без трещин. С учетом этого предложена методика прогнозирования и оценки надежности железобетонного изгибаемого элемента. Она строится исходя из предположения, что работа элемента конструкции представляет собой одну из возможных реализаций множества подобных элементов. Показатели качества каждого из них зависят от различных факторов: однородности свойств исходного материала, технологий изготовления, внешних воздействий и т.д. – и являются случайными величинами, которые характеризуются законом распределения, математическим ожиданием, дисперсией. В реальных условиях эксплуатации отказ элемента конструкции происходит под действием внешних сил (нагрузок) и агрессивных сред, интенсивность которых также оценивается случайными величинами. Определение вероятности безотказной работы элемента в общем случае затруднительно из-за множества случайных параметров, влияющих на надежность строительных конструкций. Н.С. Стрелецким предложен приближенный метод ее оценки, суть которого состоит в определении вероятности одновременного появления двух событий: превышения усилий от нагрузки заданной величины и снижения усилия, воспринимаемого сечением, до этой величины.

Предполагая, что случайные значения усилий распределены по нормальному закону и между ними отсутствует корреляционная связь, предлагаем с учетом изменчивости оценивать надежность элемента по формуле Н.С. Стрелецкого:

$$\gamma = \frac{M_{nes} - M_{nagr}}{(\sigma_{Mnes}^2 + \sigma_{Mnagr}^2)^{0.5}}, \quad (1)$$

где γ – индекс надежности, характеризующий запас прочности по отношению к действующей нагрузке с учетом изменчивости; M_{nagr} и σ_{nagr} – среднее значение усилия от нагрузки и соответствующее среднеквадратическое отклонение; M_{crc} и σ_{crc} – среднее значение усилия, воспринимаемого сечением перед появлением первой трещины, и его среднеквадратическое отклонение.

Очевидно, чем больше характеристика изменчивости σ , тем больше должна быть разность в числителе для обеспечения требуемой величины γ .

Задача оценки надежности элемента железобетонной конструкции с учетом вероятностной природы расчетных параметров усложняется еще тем, что с течением времени под действием внешних факторов величины средних и среднеквадратических отклонений также будут изменяться.

Рассмотрим возможность применения индекса надежности для прогнозирования надежности изгибаемых элементов железобетонных конструкций.

В качестве примера возьмем изгибаемый элемент с прямоугольной формой поперечного сечения и одиночной арматурой (например, балка перекрытия с арматурой в растянутой зоне). Предположим, что деградация бетона балки вызвана жидкими агрессивными средами, действующими по всем граням элемента.

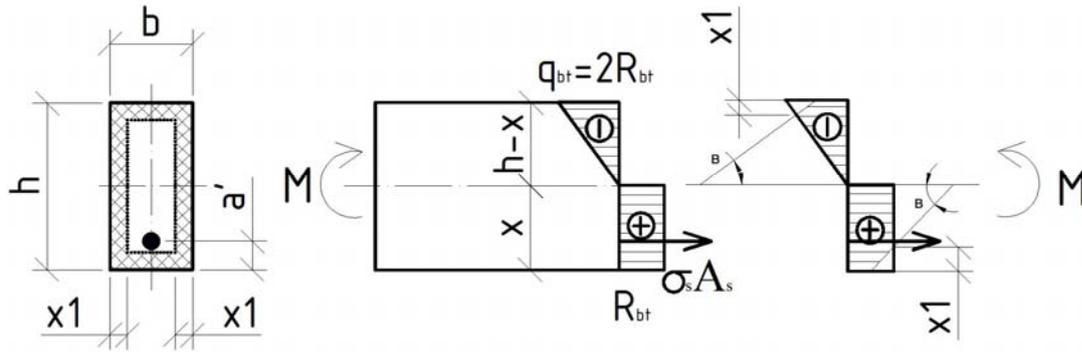


Рис.1. Расчетная схема нормального сечения изгибаемого элемента

Установлено, что x_1 – координату фронта деградации бетона – можно определить [2] по формуле

$$x_1 = k(\xi)\sqrt{D_k t}, \quad (2)$$

где $k(\xi)$ – характеристика точности определения границы разрушения материала агрессивной средой, проникающей в глубь материала; D_k – коэффициент диффузии агрессивной среды; t – длительность действия агрессивной среды.

Изменение прочности бетона во времени под действием агрессивной среды предложено описывать функцией

$$R_{bt}(t) = R_{bt}(0) \exp\{-\alpha t\}, \quad (3)$$

где R_{bt} – расчетное сопротивление бетона при растяжении; α – коэффициент, учитывающий химическую активность и концентрацию агрессивной среды.

Момент образования трещин в железобетонной балке с учетом воздействия агрессивной среды вычисляется по формуле

$$M_{cr} = \left[\frac{7}{24} h^2 - \frac{x_1}{12} (3h - 2x_1) + 2\alpha A_s \left(\frac{h}{2} - a' \right) \right] (b - 2x_1) R_{bt}^0. \quad (4)$$

Для определения индекса надежности по формуле (1) необходимо знать изменчивость расчетных параметров и среднеквадратические отклонения. Индекс надежности будем рассчитывать методами линеаризации и статистических испытаний (Монте – Карло). В последнем случае количество испытаний назначаем 100000 и находим среднее значение момента трещинообразования и среднеквадратические отклонения.

Расчет производим с использованием статистических характеристик, полученных экспериментально [3] и приведенных в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Статистическая изменчивость конструкционных параметров

Расчетный параметр	t , лет	a' , см	A_s , см ²	b , см	h , см	R_{bt} , МПа	D_{k_s} , мм ² /с
Среднее значение	0	2,0	4,02	40,0	20,0	1,60	$0,5 \cdot 10^{-6}$
Стандарт	0	0,1	0,1	0,24	0,12	2,64	$0,5 \cdot 10^{-7}$

В качестве прочностных характеристик бетона приняты среднее R_{btm} и нормативное R_{btm} значения.

Момент трещинообразования, воспринимаемый сечением M_{crc} и создаваемый силовой нагрузкой, определяем по формуле (4), соответственно принимая сопротивление бетона равным R_{stm} и R_{btm} :

$$R_{btm} = R_m(1 - 1,164 \cdot V_m), \quad (5)$$

где V_m – коэффициент вариации прочности бетона, при растяжении принятый равным 0,165.

Для бетона класса В15 нормативное сопротивление бетона растяжению $R_{btm} = 1,15$ МПа, среднее значение $R_m = 1,6$ МПа.

При расчете методом линеаризации момент образования трещин вычисляем по формуле (4), а стандартное отклонение – по следующей формуле:

$$\sigma_{M_{crc}} = \left(\left(\frac{dM_{crc}}{dR_s} \right)^2 \cdot \sigma_{R_s}^2 + \left(\frac{dM_{crc}}{dA_s} \right)^2 \cdot \sigma_{A_s}^2 + \left(\frac{dM_{crc}}{dh} \right)^2 \cdot \sigma_h^2 + \left(\frac{dM_{crc}}{db} \right)^2 \cdot \sigma_b^2 + \left(\frac{dM_{crc}}{dR_b} \right)^2 \cdot \sigma_{R_b}^2 + \left(\frac{dM_{crc}}{dD_k} \right)^2 \cdot \sigma_{D_k}^2 \right)^{0.5}. \quad (6)$$

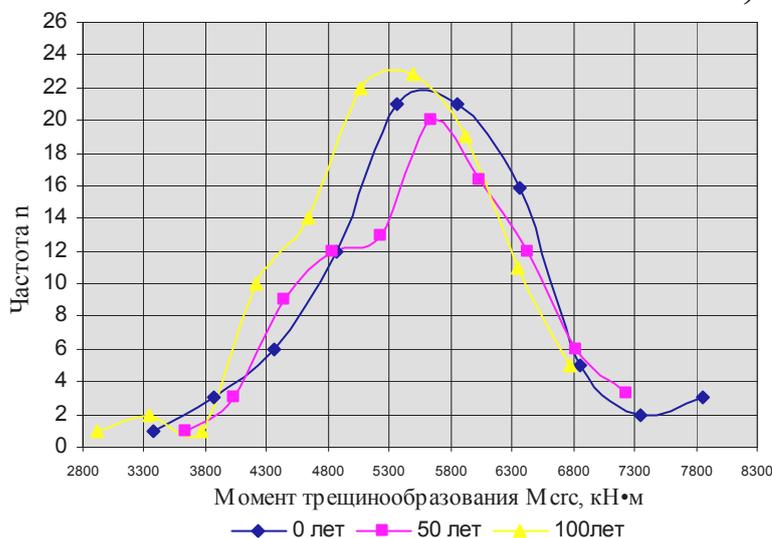


Рис.2. Плотность распределения момента трещинообразования

Рассчитываем индекс надежности методом Монте – Карло. Численные значения характеристик, входящих в формулу (6), определялись методом статистического моделирования.

Результаты моделирования, представленные на рис.2, свидетельствуют о том, что распределение случайной величины M_{crc} близко к нормальному закону.

Статистические характеристики и значения индекса надежности, определенные различными методами, представлены в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Значения индекса надежности

Срок эксплуатации, лет	Метод Монте – Карло			Метод линеаризации		
	M_{crc} , кН·м	σ_{crc} , кН·м	Индекс надежности γ	M_{crc} , кН·м	σ_{crc} , кН·м	Индекс надежности γ
1	2	3	4	5	6	7
0	5515,77	909,70	1,49	5520,32	918,31	1,48
20	5327,65	898,65	1,31	5311,85	883,72	1,31
40	5221,69	874,20	1,23	5225,77	869,44	1,24
60	5149,47	865,19	1,17	5159,83	858,52	1,18
80	5082,82	855,80	1,11	5104,32	849,32	1,13
100	5052,15	833,23	1,09	5055,46	841,23	1,09

Сопоставление полученных результатов свидетельствует о том, что при определении индекса надежности методом Монте – Карло и методом линеаризации расхождение в результатах расчета не значительны (см. табл. 2). Проанализировав работу программы, можно сделать следующие выводы: метод Монте – Карло проще адаптировать к решению задач по определению надежности; увеличив количество испытаний, можно добиться оптимальной точности решений.

Анализ данных обследований железобетонных конструкций, работающих в условиях действий агрессивных сред, показывает, что статистические характеристики изделий со временем изменяются [3].

Так как долговечность и ресурс конструкции зависят от среднеквадратических отклонений σ_{Mcr} и σ_{Mnagr} , то определенный интерес представляет исследование влияния изменчивости параметров, входящих в формулу (6), на индекс надежности. Применяя статистическое моделирование, определяем индекс надежности, последовательно увеличивая коэффициент вариации (h, b, R_{bt}, M_{nagr}) в пять раз, при сроке эксплуатации 20 лет.

График, представленный на рис. 3, дает полную характеристику влияния изменчивости расчетно-конструктивных параметров на индекс надежности. Наибольшее влияние на ресурс конструкции оказывает изменчивость сопротивления бетона растяжению R_{bt} , наименьшее – рабочая высота сечения h и ширина b .

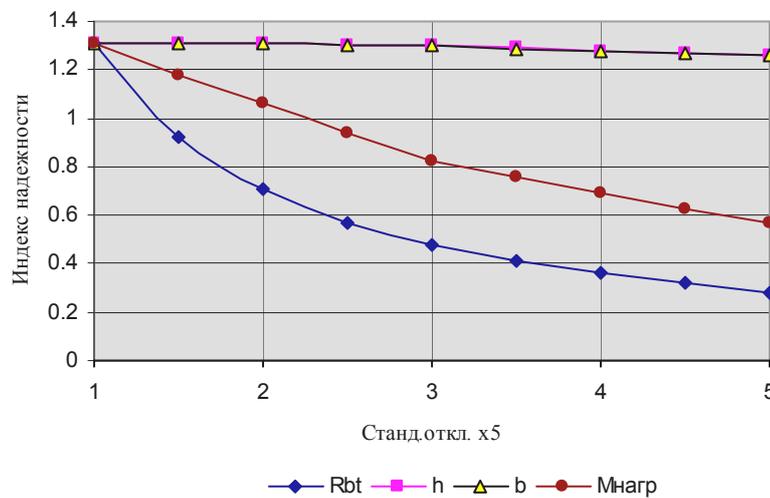


Рис.3. Влияние изменчивости расчетно-конструктивных параметров

Изучалось влияние изменчивости коэффициента диффузии D_k на индекс надежности. Экспериментальные данные свидетельствуют о том [2], что величина этого параметра может меняться в значительных пределах. Поэтому далее последовательно варьируем величину коэффициента диффузии от $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$ до $7 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$ с шагом $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$. Результаты расчета представлены в графическом виде (рис. 4).

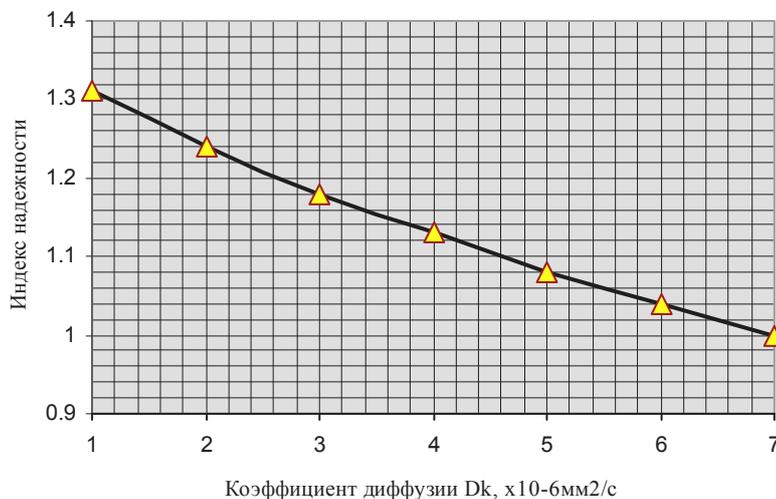


Рис.4. Влияние коэффициента диффузии D_k на индекс надежности

Анализ результатов статистического моделирования показал: индекс надежности, определенный методами линеаризации и Монте – Карло, дает возможность оценить надежность изделия, работающего в условиях действий агрессивных сред; методом Монте – Карло можно решать более сложные, многопараметрические задачи; метод линеаризации следует применять при зависимости функции от трех-пяти случайных параметров.

Список литературы

1. Соломатов, В.И. Анализ надежности железобетонных конструкций с полимерными покрытиями [Текст] / В.И. Соломатов, В.П. Селяев, В.Н. Журавлева, Г.М. Лепешкина // Работоспособность композиционных строительных материалов в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов: межвуз. сб. – Казань, 1982. – С.13–16.
2. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов [Текст] / В.И. Соломатов, В.П. Селяев. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
3. Селяев, В.П. Оценка надежности и долговечности железобетонных плит, изготовленных методом безопалубочного формования на длинных стендах [Текст] / В.П., Селяев В.Н. Уткина, П.В. Селяев, И.Ю. Уткин, И.С. Петров, А.О. Колдин // Вестн. Томского гос. архит.-строит. ун-та. – Томск, 2010. – №2. – С.177–187.

References

1. Solomatov V.I., Seljaev V.P., Zhuravlyova V.N., Lepeshkina G.M. Analiz of reliability of ferro-concrete designs with polymeric coverings. Working capacity of composite building materials in the conditions of influence of various operational factors: interhigh school. – Kazan, 1982. – P.13–16.
2. Solomatov V.I., Seljaev V.P. Chemical resistance of composite building materials.– М: Stroyizdat, 1987. – 264 p.
3. Seljaev V.P., Utkin V.N., Seljaev P.V., Utkin I.J., Petrov I.S., Koldin A.O. Estimation of reliability and durability of the ferro-concrete plates made by a method of formless formation at long stands.The bulletin of Tomsk state architecturally-building university. – Tomsk, 2010. – №2. – P.177–187.

УДК 69.04

*Московский государственный
строительный университет*Россия, 129337, г.Москва, Ярославское
шоссе, д. 26, тел./факс: +7 (495) 781-80-07.**Мондрус Владимир Львович,**доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительная
механика»

Тел.: +7 (495) 287-49-14 (3141)

E-mail: mondrus@mail.ru

Шутовский Станислав Николаевич,аспирант кафедры «Строительная
механика».

Тел.: +7 (495) 287-49-14 (3141)

E-mail: shutovsii@mail.ru.

*Moscow State University of Civil Engineering*Russia, 129337, Moscow, 26, Yaroslavskoe
shosse, tel./fax: +7 (495) 781-80-07.**Mondrus Vladimir Lvovich,**Doctor of Sciences, professor, head of the
department «Structural Mechanics»

Tel.: +7 (495) 287-49-14 (3141)

E-mail: mondrus@mail.ru

Shutovskiy Stanislav Nicolaevich,Postgraduate student of the department
«Structural Mechanics»

Tel.: +7 (495) 287-49-14 (3141)

E-mail: shutovsii@mail.ru.

К ВОПРОСУ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

В.Л. Мондрус, С.Н. Шутовский

В статье рассматривается исследование расчетных моделей зданий и сооружений, представляющих собой периодические (регулярные) системы с массами, сосредоточенными в узлах. Приводятся соотношения, позволяющие изучить прохождение волн в таких системах. Рассмотрено построение картины линий равной частоты, позволяющей определить предельные частоты волн, которые могут проходить через данную модель.

Ключевые слова: периодическая модель, волны, колебания.

ON THE ISSUE OF WAVES PROPAGATION IN BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS WITH PERIODIC STRUCTURE

V.L. Mondrus, S.N. Shutovskiy

Research of buildings and constuctions models representing by itself periodic (regular) systems with masses concentrated in nodes is considered. The formulas allowing to study waves propagation in such systems are given. Construction of equal frequency lines picture is considered, it allows to define waves limit frequencies which can pass through the given model.

Keywords: periodic model, waves, vibration.

Современные здания и сооружения являются сложными пространственными системами. Поэтому очевидно, что выбор для расчетов таких зданий-моделей в виде двумерных или трехмерных дискретных систем в значительной мере увеличивает достоверность получаемых результатов по сравнению с расчетами, в которых используются одномерные модели, и позволяет более надежно запроектировать реальные объекты. Статья посвящена исследованию расчетных моделей зданий и сооружений, представляющих собой периодические (регулярные) системы с массами, сосредоточенными в узлах. В дальнейшем предполагаем, что взаимодействие имеет место только между соседними массами. В самом общем виде трехмерная расчетная модель здания показана на рис. 1.

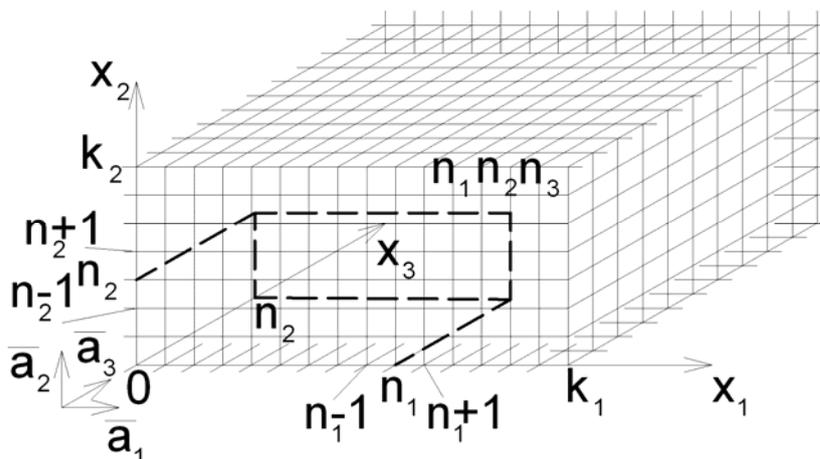


Рис. 1. Трехмерная общая модель здания

Рассмотрим трехмерную периодическую ортогональную расчетную модель, представленную на рис. 1. Полагаем, что элементы-связи между массами, параллельные различным осям координат, обладают различными жесткостными характеристиками, а элементы одного направления имеют различные жесткостные характеристики в зависимости от направления взаимного поступательного смещения масс.

Из всех возможных для связи какого-либо одного направления α ($\alpha = x_1, x_2, x_3$) значений величины $E_{\Pi\alpha\beta}(nn')$, определяемых матрицей

$$\begin{pmatrix} E_{\Pi 11}(nn')^\alpha & E_{\Pi 12}(nn')^\alpha & E_{\Pi 13}(nn')^\alpha \\ E_{\Pi 21}(nn')^\alpha & E_{\Pi 22}(nn')^\alpha & E_{\Pi 23}(nn')^\alpha \\ E_{\Pi 31}(nn')^\alpha & E_{\Pi 32}(nn')^\alpha & E_{\Pi 33}(nn')^\alpha \end{pmatrix} \quad (1)$$

будем рассматривать только три, стоящие на главной диагонали и имеющие реальный физический смысл для расчетных моделей зданий. С целью сокращения записи в дальнейшем будем обозначать характеристики

связей, ось которых параллельна оси x_1 ,

$$E_{\Pi 11}(nn')^\alpha = \gamma_{11}; \quad E_{\Pi 12}(nn')^\alpha = \gamma_{12}; \quad E_{\Pi 13}(nn')^\alpha = \gamma_{13}; \quad (2)$$

связей, ось которых параллельна оси x_2 ,

$$E_{\Pi 21}(nn')^\alpha = \gamma_{21}; \quad E_{\Pi 22}(nn')^\alpha = \gamma_{22}; \quad E_{\Pi 23}(nn')^\alpha = \gamma_{23}; \quad (3)$$

связей, ось которых параллельна оси x_3 ,

$$E_{\Pi 31}(nn')^\alpha = \gamma_{31}; \quad E_{\Pi 32}(nn')^\alpha = \gamma_{32}; \quad E_{\Pi 33}(nn')^\alpha = \gamma_{33}. \quad (4)$$

Остальные из возможных значений величины $E_{\Pi\alpha\beta}(nn')^\alpha$ полагаем равными нулю, как не имеющими физического смысла.

Таким образом, величины $\gamma_{\alpha\beta}$ характеризуют жесткость связей, ось которых параллельна оси координат α при взаимном смещении соединяемых масс вдоль оси,

параллельной оси координат β (рис. 2) Эти величины численно равны силе, действующей в направлении оси, параллельной оси β , на массу, положение которой определяется вектором $\bar{r}(n)$, в случае когда масса, положение которой определяется вектором $\bar{r}(n) \pm \bar{a}_\alpha$, смещена вдоль оси, параллельной оси β , на отрезок единичной длины.

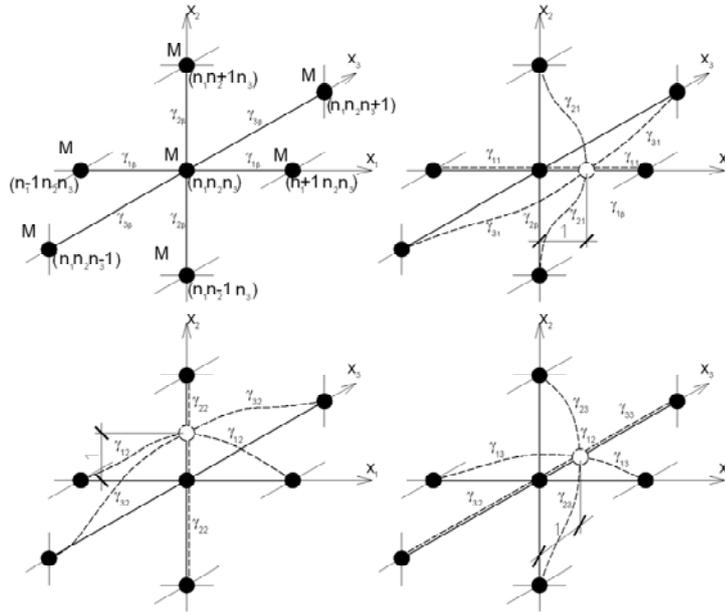


Рис. 2. К определению жесткости связей

Помимо поступательных перемещений масс, возможны также их повороты вокруг осей, параллельных осям координат. При этом, в зависимости от оси, вокруг которой происходит поворот, моменты инерции масс-грузов ($M_\alpha, \alpha = x_1, x_2, x_3$) и жесткостные характеристики связей $\gamma_{\alpha\beta}^*$, препятствующих поворотам этих масс, различны.

Отметим, что рассмотренные выше типы связей практически полностью исчерпывают все типы связей, возможные в реальных зданиях и сооружениях. При этом следует иметь в виду, что любую из жесткостных характеристик $\gamma_{\alpha\beta}$ или $\gamma_{\alpha\beta}^*$ можно определять как «приведенную».

Можно записать уравнение движения для α -составляющей смещения произвольной массы расчетной модели. Допустим, например, что $\alpha = x_1$, тогда уравнение движения запишется в виде

$$M \ddot{u}(n_1 n_2 n_3) = \gamma_{11} \Delta_{n1} u(n_1 n_2 n_3) + \gamma_{21} \Delta_{n2} u(n_1 n_2 n_3) + \gamma_{31} \Delta_{n3} u(n_1 n_2 n_3), \quad (5)$$

где $\Delta_{n1} u(n_1 n_2 n_3) = u(n_1 + 1, n_2, n_3) - 2u(n_1 n_2 n_3) + u(n_1 - 1, n_2, n_3)$;

$\Delta_{n2} u(n_1 n_2 n_3) = u(n_1, n_2 + 1, n_3) - 2u(n_1 n_2 n_3) + u(n_1, n_2 - 1, n_3)$;

$\Delta_{n3} u(n_1 n_2 n_3) = u(n_1, n_2, n_3 + 1) - 2u(n_1 n_2 n_3) + u(n_1, n_2, n_3 - 1)$. (6)

Решая это уравнение, находим:

$$\frac{M\omega^2}{4} = \gamma_{11} \sin^2(\pi \bar{c} \bar{a}_1) + \gamma_{21} \sin^2(\pi \bar{c} \bar{a}_2) + \gamma_{31} \sin^2(\pi \bar{c} \bar{a}_3). \quad (7)$$

Это выражение целесообразно записать в безразмерных параметрах. Разделив обе части равенства (7) на γ_{11} , получим:

$$\Gamma_1 = \sin^2(\pi \bar{c} \bar{a}_1) + \chi_1 \sin^2(\pi \bar{c} \bar{a}_2) + \chi_2 \sin^2(\pi \bar{c} \bar{a}_3), \quad (8)$$

где

$$\Gamma_1 = \frac{M\omega^2}{4\gamma_{11}}, \quad \chi_1 = \frac{\gamma_{21}}{\gamma_{11}}, \quad \chi_2 = \frac{\gamma_{31}}{\gamma_{11}} - \quad (9)$$

безразмерные параметры. Как правило $\chi_1 < 1$, $\chi_2 < 1$, т.к. конструкции реальных зданий в большинстве своем обладают значительно большей жесткостью на сжатие (растяжение), чем на изгиб или сдвиг (т.е. $\gamma_{11} > \gamma_{21}$ и $\gamma_{11} > \gamma_{31}$).

Равенство (8) является дисперсионным соотношением для одной из трех ветвей спектра трехмерной расчетной модели, соответствующей составляющей поступательного движения масс вдоль оси x_1 .

Аналогично получают дисперсионные соотношения для других ветвей спектра, соответствующих составляющим поступательного движения масс расчетной модели вдоль осей x_2 и x_3 и поворотам масс вокруг осей x_α ($\alpha = 1, 2, 3$).

Рассмотрим прямоугольную двумерную расчетную модель, прямая решетка которой определяется заданием двух базисных векторов \bar{a}_α ($\alpha = 1, 2$) (рис. 3). Для построения обратной решетки в прямой решетке определяется расстояние $\bar{a}_\alpha = \left| \bar{a}_\alpha \right|$

между параллельными рядами масс. Проведя отрезок длиной $\left| b_\alpha \right| = \frac{1}{a_\alpha} = \frac{1}{\left| \bar{a}_\alpha \right|}$ в

направлении, перпендикулярном соответствующим рядам, получаем вектор обратной решетки. Для рассматриваемой прямой решетки обратная решетка также будет прямоугольной. Структура двух первых зон обратной решетки изображена на рис.3.

Для двумерной расчетной модели функция $\nu(\bar{c})$ (или $\omega(\bar{c})$) зависит от переменных c_1 и c_2 (компонент вектора \bar{c}) и на границе первой зоны ее нормальная производная должна обращаться в нуль. Используя дисперсионные соотношения для двумерных расчетных моделей, в плоскости $c_1 c_2$ можно построить семейство кривых, вдоль каждой из которых частота постоянна. Для таких линий равной частоты Б.П.Вольфсоном было введено название «изосихнотит». Все семейство кривых, характеризующее изменение частоты ν (или ω) в зависимости от \bar{c} , будем называть картиной изосихнотит. Пример картины изосихнотит для двумерной расчетной модели, изображенной на рис. 3, приведен на рис. 4 (I – граница 1-й зоны; I,II,III,IV – номера квадрантов). Из предварительного анализа картины следует, что значения фазовой скорости различны для направлений Oc_1 и Oc_2 и предельная частота меняется при перемещении вдоль границы первой зоны, т.е. она зависит как от направления распространения, так и от механических характеристик расчетной модели.

Для иллюстрации более подробно рассмотрим какое-либо конкретное дисперсионное соотношение для двумерной расчетной модели. Например,

$$\Gamma_1 = \sin^2(\pi \bar{c} \bar{a}_1) + \chi_1 \sin^2(\pi \bar{c} \bar{a}_2), \quad (10)$$

где

$$\Gamma_1 = \frac{M\omega^2}{4\gamma_{11}}, \quad \chi_1 = \frac{\gamma_{21}}{\gamma_{11}}. \quad (11)$$

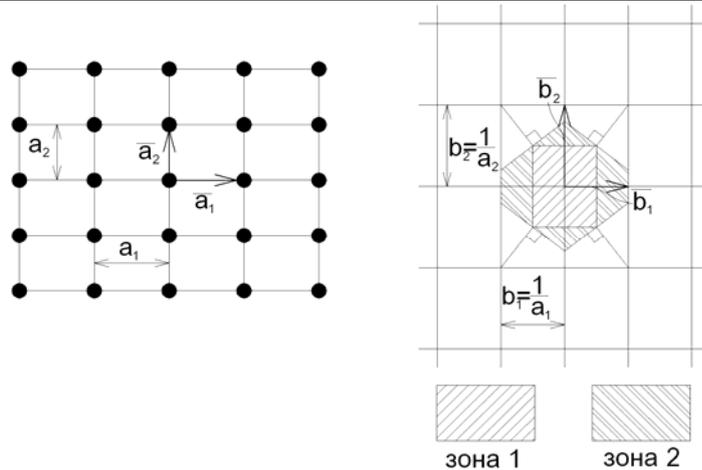


Рис. 3. Пример двумерной решетки плоской расчетной модели

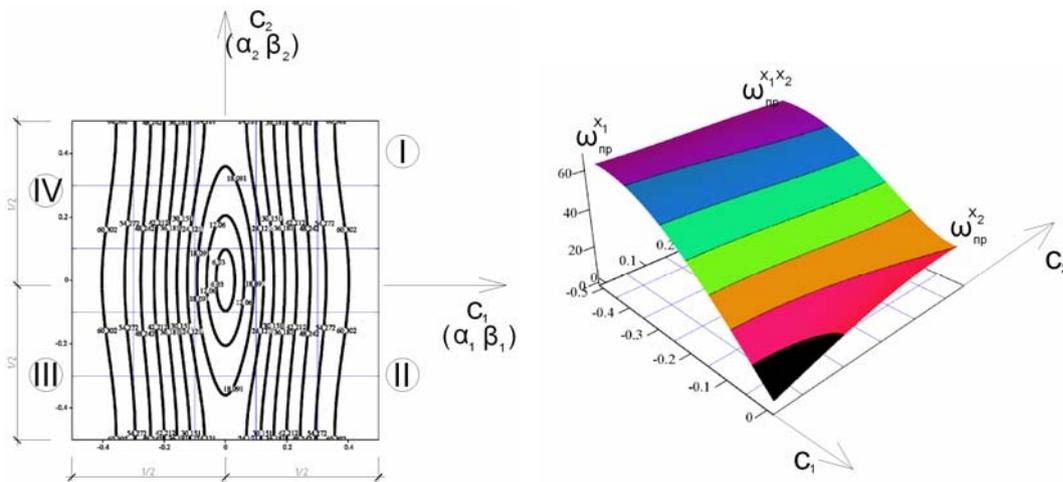


Рис. 4. Картина «изосихнотит» (линий равной частоты)

Это дисперсионное соотношение соответствует одной из ветвей спектра двумерной модели. Соотношение характеризует составляющую поступательного движения масс расчетной модели вдоль оси x_1 . Для наглядности зададимся конкретными

величинами параметров: $M = \frac{20000 \text{ кг}}{980 \text{ см/с}^2} \approx 20 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{см}}$, $c_1 = 360 \text{ см}$, $c_2 = 270 \text{ см}$,

$$\gamma_{11} = 2 \cdot 10^4 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}, \quad \gamma_{21} = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

При таких значениях параметров картина изосихнотит $\omega(\bar{c})$, построенная в первой зоне обратной решетки, имеет вид, показанный на рис. 4. Само соотношение для определения частоты при этом записывается в виде

$$\omega^2 = 400(10 \sin^2 \pi c_1 + \sin^2 \pi c_2). \quad (12)$$

На рис. 3 1-я зона обратной решетки построена в системе координат с базисами \bar{b}_α . Для c_1 и c_2 оказался разным масштаб, т.к. различна длина базисных векторов \bar{b}_α . Если построение производить в системе координат с ортами \bar{i}, \bar{j} , то по осям будут откладываться не c_1 и c_2 , а величины $c_1 b_1 = \frac{c_1}{a_1}$ и $c_2 b_2 = \frac{c_2}{a_2}$. Геометрия зоны и картина изосихнотит при этом не изменяется.

Из приведенных выше соотношений следует, что частота ω , во-первых, величина существенно положительная, а во-вторых, является периодической функцией координат c_α волнового вектора \vec{c} , симметричной относительно осей координат, имеющей абсолютный максимум в точках $c_1 = \pm \frac{1}{2}$, $c_2 = \pm \frac{1}{2}$ и стационарные седлообразные точки с координатами $c_1 = \pm \frac{1}{2}$, $c_2 = 0$ и $c_1 = 0$, $c_2 = \pm \frac{1}{2}$. Период функции в направлении обеих осей координат равен 1, так как

$$\Gamma_1 = \sin^2 \pi(c_1 + 1) + \chi_1 \sin^2 \pi(c_2 + 1) = \sin^2 \pi c_1 + \chi_1 \sin^2 \pi c_2. \quad (13)$$

Существование особых точек указывает на то, что, помимо упомянутого выше важного факта наличия предельного значения частоты для любого направления распространения волны (волнового вектора), для дискретных периодических расчетных моделей существуют предельные частоты, которые в дальнейшем будем называть характерными. Такими характерными предельными частотами для рассматриваемой двумерной модели являются величины, определяемые из соотношения (7):

– локальная предельная частота для направления волнового вектора, совпадающего с осью Ox_1

$$\omega_{\text{пр}}^{x_1} = 2\sqrt{\frac{\gamma_{11}}{M}}, (c_1 = \frac{1}{2}, c_2 = 0); \quad (14)$$

– локальная предельная частота для направления волнового вектора, совпадающего с осью Ox_2

$$\omega_{\text{пр}}^{x_2} = 2\sqrt{\frac{\gamma_{11}}{M}}, (c_1 = 0, c_2 = \frac{1}{2}); \quad (15)$$

– абсолютная предельная частота расчетной модели для направления волнового вектора, совпадающего с диагональю любого из квадрантов зоны. Если частота распространяющейся волны больше или равна $\omega_{\text{пр}}^{x_1 x_2}$, то независимо от направления распространения амплитуда этой волны при её движении в расчетной модели будет уменьшаться от массы к массе

$$\omega_{\text{пр}}^{x_1 x_2} = 2\sqrt{\frac{\gamma_{11} + \gamma_{21}}{M}}, (c_1 = c_2 = \frac{1}{2}). \quad (16)$$

Пространственная дискретная расчетная модель здания или сооружения в общем случае может иметь 6 ветвей спектра собственных частот, соответствующих трем составляющим поступательного движения и трем возможным поворотам масс. Для всех ветвей спектра выше получены дисперсионные соотношения. Показано также, что каждое дисперсионное соотношение свидетельствует об определенных ограничениях, накладываемых различными факторами на возможность распространения в расчетной модели соответствующего вида волны (колебания). Эти ограничения в основном связаны с тем, что для любого направления волнового вектора волны, распространяющейся в здании, существует вполне определенная полоса пропускания, ограниченная предельными частотами. Волны (колебания) с частотами, не попадающими в полосу пропускания, практически в здании распространяться не могут. Таким образом, если к зданию (сооружению) приходит волна общего типа, способная вызвать все шесть возможных типов колебаний, то, в зависимости от частоты падающей волны, направления волнового вектора и механических характеристик конструкции здания в последнем, могут активно распространяться волны одних видов и практически не могут распространяться волны других видов.

Если на основе этих соображений провести анализ явлений, связанных с распространением волн (колебаний) в реальных зданиях и сооружениях, можно прийти к некоторым интересным выводам. Так, например, одна и та же сейсмическая волна в стоящих рядом на поверхности земли и различных по конструктивному решению зданиях и сооружениях, может вызвать волны (колебания) совершенно различных видов (вертикальные, горизонтальные, крутильные). Одна и та же волна в одинаковых по конструктивному решению сооружениях, расположенных под разными углами к фронту волны, может либо вызвать активные волны (колебания), либо не вызвать практически никаких колебаний. Аналогичные результаты очевидно должны иметь место при воздействии на здания и сооружения взрывной волны, ветра и т.п.

Другое интересное явление связано с распространением волн (колебаний) от источника, находящегося непосредственно в сооружении. В зависимости от параметров волны и характеристик сооружения может оказаться, что волна от источника преимущественно распространяется только в каких-либо избранных направлениях, лежащих внутри определенных телесных углов – для трехмерных расчетных моделей или определенных плоских углов – для двумерных расчетных моделей. В особых случаях волна может распространяться только в направлении некоторых лучей, исходящих из точки сооружения, в которой расположен источник. При этом в определенных направлениях преимущественно распространяются волны одного типа. Наряду с указанными особыми случаями возможно также, что волна распространяется по всем направлениям от источника без затухания, либо, наоборот, по всем направлениям активно затухает. В последнем случае волна в сооружении практически не распространяется, и колеблются только ближайшие к источнику элементы здания.

Список литературы

1. Бриллюэн, Л. Распространение волн в периодических структурах [Текст] / Л. Бриллюэн, М. Пароди. – М.: ИЛ, 1959.
2. Вольфсон, Б.П. О собственных колебаниях одномерной периодической системы [Текст] / Б.П. Вольфсон // Исследования по теории сооружений: сб.; под ред. проф. Б.Г.Коренева, чл.-корр. АН СССР И.М.Рабиновича, проф. А.Ф.Смирнова. – Вып. XVII. – М.: Стройиздат, 1969.
3. Вольфсон, Б.П. Некоторые вопросы колебаний современных зданий и сооружений как двух- и трехмерных периодических систем [Текст] / Б.П. Вольфсон // Исследования по теории сооружений: сб.; под ред. проф. Б.Г.Коренева, чл.-корр. АН СССР И.М.Рабиновича, проф. А.Ф.Смирнова. – Вып. XIX. – М.: Стройиздат, 1972.
4. Дашевский, М.А. Свободные поступательно-вращательные колебания несимметричных в плане сооружений регулярной структуры [Текст] / М.А. Дашевский // Труды ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко. – Вып. 43. – 1975.
5. Очков, В.Ф. Mathcad 14 для студентов и инженеров [Текст] / В.Ф. Очков. – БХВ-Петербург, 2009.

References

1. Brillouin L., Parodi M. Propagation of waves in periodic structures. – M.: Foreign literature, 1959.
2. Volfson B.P. About own fluctuations of one-dimensional periodic system. Collected articles: Researches under the theory of constructions, under edition of prof. B.G. Korenev, corresponding member of Academy of Sciences of USSR I. M. Rabinovich, prof. A.F. Smirnov, issue XVII, Stroyizdat, 1969.
3. Volfson B.P. Some issues of vibration of modern buildings and structures as two- and three-dimensional periodic systems. Collected articles: Researches under the theory of constructions, under edition of prof. B.G. Korenev, corresponding member of Academy of Sciences of USSR I. M. Rabinovich, prof. A. F. Smirnov, issue XIX. –M.: Stroyizdat, 1972.
4. Dashevskiy M.A. Free forward-rotary fluctuations of asymmetrical in layout constructions of regular structure. – Proceedings of CNIISK of V.A.Kucherenko, issue 43, 1975.
5. Ochkov. D.F. Mathcad 14 for students and engineers. – BHV-Peterburg, 2009

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Шеин Александр Иванович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительная
и теоретическая механика»

E-mail: sitm@gasa.penza.com.ru

Земцова Ольга Григорьевна,

ассистент кафедры «Строительная
и теоретическая механика»

E-mail: zemtsova-og@mail.ru

Penza State University of Architecture
and Construction

Russia, 440028, Penza, Titov St., 28,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Shein Alexander Ivanovich,

Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Building and
theoretical mechanics»

E-mail: sitm@gasa.penza.com.ru

Zemtsova Olga Grigorevna,

Assistant of the department «Building and
theoretical mechanics»

E-mail: zemtsova-og@mail.ru

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ «УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ – ВЫСОТНОЕ СООРУЖЕНИЕ» С ПОМОЩЬЮ НЕЛИНЕЙНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ГАСИТЕЛЯ

А.И. Шеин, О.Г. Земцова

Показаны настройка и работа нелинейного гасителя колебаний здания с учетом конечной жесткости грунтового основания. Представлены уравнения динамического равновесия фундаментной плиты и отдельных опор. Описана математическая модель для проведения исследований возможностей управления пространственной динамикой здания в системах «основание – сооружение – гаситель».

Ключевые слова: высотное сооружение, пространственная динамика, нелинейная модель, гаситель колебаний, грунтовое основание.

DECREASE IN LEVEL OF VIBRATIONF SYSTEM «THE ELASTIC FOUNDATION – A HIGH-RISE CONSTRUCTION» BY MEANS OF A NONLINEAR DYNAMIC DAMPER

A.I. Shein, O.G. Zemtsova

Shows the influence of finite rigidity of soil foundation on adjustment and operation of a nonlinear vibration damper. The equations of dynamic equilibrium of the foundation slab and individual supports, included in the finite element system «construction – damper», are presented. The developed mathematical model is designed to conduct research control capabilities of the spatial dynamics of structures in the systems «soil foundation – construction – damper».

Keywords: high-rise construction, spatial dynamics, nonlinear model, vibration damper, soil foundation.

Введение

Проблема защиты высотных и большепролетных сооружений от резонансных колебаний уже много лет решается с помощью специальных устройств, называемых гасителями колебаний. Конструктивно подобные устройства могут иметь различные схемы и принципы действия. Широкое распространение получили динамические гасители колебаний. Большинство из них в теоретических расчетах математически представляются как одномерные модели. Подобные модели с одной степенью свободы основной массы описывают движение защищаемой конструкции по некоторой, чаще всего первой, форме собственных колебаний. Однако такой подход оправдан только для плоского деформирования конструкций с разреженным спектром собственных частот колебаний. Для реального пространственного сооружения расчет, установка и настройка

гасителя колебаний являются весьма дорогостоящими, по сути уникальными, операциями. Это обусловлено прежде всего недостаточной разработанностью модели динамического поведения зданий и сооружений в действительных граничных условиях.

Рассмотрим пространственную модель высотного здания на упругом основании с учетом демпфирования в элементах конструкции и грунте. Такая модель позволяет исследовать колебания сооружения под действием ветровой нагрузки, установить и рационально настроить нелинейный гаситель колебаний.

Известно, что точность настройки гасителя колебаний существенно влияет на эффективность его работы. Анализ системы «сооружение – гаситель» позволяет вычислить основные частоты и воспроизвести их в режиме вынужденных колебаний, а затем соответствующим образом подстроить гаситель колебаний. Однако более точной является модель, учитывающая динамическую работу основания высотного здания или сооружения, т.е. модель «основание – сооружение – гаситель». Кроме того, необходимо, чтобы проектный диапазон частот гасителя колебаний был достаточен для его настройки, т.е. попадал в рабочий диапазон, а не выбивался из него.

1. Вывод расчетных соотношений для грунтового основания

При достаточно интенсивных динамических воздействиях упругие свойства грунта повышаются, и фундаментную плиту башни ввиду ее незначительной протяженности можно считать абсолютно твердым телом относительно грунтового основания. Будем считать, что основание или подстилающий слой при статической нагрузке упруго реагирует в вертикальном направлении пропорционально вертикальным перемещениям жесткой фундаментной плиты. То есть примем винклеровскую модель грунтового основания (рис. 1). Эта модель наиболее удачно подходит и для описания динамической работы основания. К тому же от винклеровской модели достаточно просто перейти к модели нелинейно-упругого основания с жесткой или мягкой упругой характеристикой.

Условия динамического равновесия фундаментной плиты на упругом основании можно записать в виде:

$$\left. \begin{aligned} I_x^m \ddot{\phi}_x + \iint_A r \cdot y \cdot dx \cdot dy &= \sum M_x, \\ I_y^m \ddot{\phi}_y + \iint_A r \cdot x \cdot dx \cdot dy &= \sum M_y, \\ m_{пл} \ddot{w}_0 + \iint_A r \cdot dx \cdot dy &= \sum N_z. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь I_x^m, I_y^m – моменты инерции масс плиты относительно осей x и y , соответственно; $\ddot{\phi}_x, \ddot{\phi}_y$ – угловые ускорения плиты при вращении ее вокруг осей x и y , соответственно; M_x, M_y – моменты внешних сил относительно осей x и y соответственно; N_z – проекции внешних сил на ось z ; \ddot{w}_0 – ускорение плиты в поступательном движении вдоль оси z ; $m_{пл}$ – масса плиты; r – интенсивность реакции основания; A – площадь плиты.

Динамическая реакция в точке вязкоупругого винклеровского основания может быть определена с помощью следующего соотношения:

$$r = k \cdot w + \alpha \cdot \dot{w}, \quad (2)$$

где k – коэффициент постели; w – вертикальное перемещение точки плиты; α – коэффициент сопротивления движения грунта; \dot{w} – скорость перемещения точки плиты. При этом вертикальное перемещение точки плиты определяется соотношением

$$w = w_0 + \phi_x \cdot y - \phi_y \cdot x. \quad (3)$$

Здесь $w_0, \varphi_x, \varphi_y$ – вертикальное перемещение точки, совпадающей в недеформированном состоянии с началом координат; φ_x, φ_y – углы поворота плиты вокруг осей x и y , соответственно.

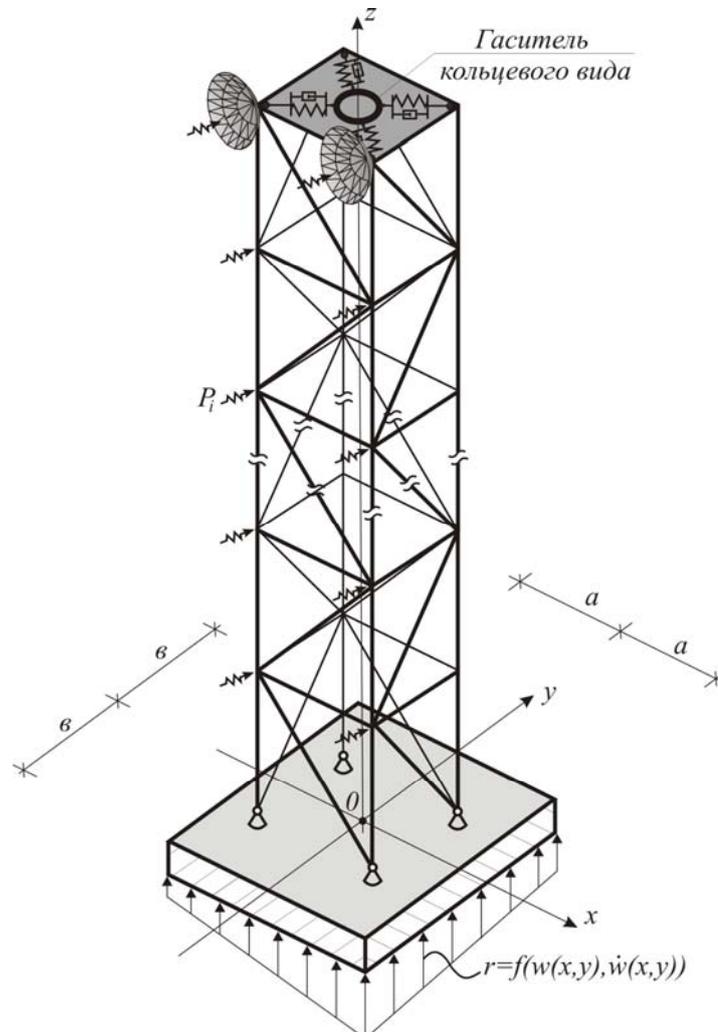


Рис. 1. Модель высотного сооружения с фундаментной плитой на винклеровском основании

Подставляя (3) и (2) в (1) и интегрируя, получаем для главных центральных осей:

$$\left. \begin{aligned} I_x^m \ddot{\phi}_x + I_x^A (k\phi_x + \alpha\dot{\phi}_x) &= \sum M_x, \\ I_y^m \ddot{\phi}_y + I_y^A (k\phi_y + \alpha\dot{\phi}_y) &= \sum M_y, \\ m_{nz} \ddot{w}_0 + A(kw_0 + \alpha\dot{w}_0) &= \sum N_z. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Здесь I_x^A, I_y^A – моменты инерции площади плиты относительно осей x и y , соответственно.

Таким образом, система динамического равновесия «основание – сооружение – гаситель» (ОСГ) расширится на три уравнения с тремя неизвестными функциями перемещений φ_x, φ_y и w_0 . При этом перемещения опорных узловых точек сооружения (башни) в вертикальном направлении u_p (здесь индекс p равен номерам вертикальных перемещений) из числа фиксированных перемещений перейдут в состав

переменных, связанных с плитой соотношениями вида (3). Строки матрицы жесткости системы «сооружение – гаситель» дополняются элементами

$$\begin{aligned} k_{i,(n-2)} &= k_{i,p}; \\ k_{i,(n-1)} &= k_{i,p} \cdot y_l; \\ k_{i,(n)} &= k_{i,p} \cdot x. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь i – номер строки ($i = 1, 2, \dots, n - 2$); l – номер опорного узла, соответствующего перемещению p ; n – количество неизвестных перемещений системы «основание – сооружение – гаситель». Аналогичным образом изменятся и строки матрицы демпфирования.

При вычислении собственных частот колебаний системы ОСГ необходимо иметь в виду, что в правых частях уравнений (4) стоят, вообще говоря, внутренние силы. Поэтому при определении собственных частот и форм колебаний эти уравнения целесообразно переписать, переместив правые части влево, одновременно выразив внутренние силы через узловое перемещение.

В ряде случаев фундаменты опорных узлов высотных сооружений могут быть выполнены независимыми друг от друга. В этих случаях упругую реакцию основания каждого фундамента легко определить с помощью соотношения

$$r_i = A_i(k_i w_i + \alpha_i \dot{w}_i), \quad (6)$$

где A_i – площадь основания i -го фундамента. Такая форма записи позволяет моделировать местные ослабления или, наоборот, местные жесткие включения грунтовых оснований.

Статическую реакцию нелинейно-упругого основания можно смоделировать следующими соотношениями:

а) для основания с жесткой упругой характеристикой в виде

$$r = k \cdot w^h, \quad (7)$$

где $h > 1$;

б) для основания с мягкой упругой характеристикой

$$r = k \cdot w - k_3 \cdot w^3. \quad (8)$$

Коэффициент k_3 определяется из соотношения

$$k_3 = \frac{k \cdot w_{\text{mn}} - r_{\text{mn}}}{w_{\text{mn}}^3}, \quad (9)$$

где r_{mn} – максимальная возможная реакция в точке основания; w_{mn} – соответствующее перемещение.

2. Экспериментальная часть

В качестве исследуемой модели рассмотрим стальную башню, закрепленную на жесткой железобетонной плите размерами $5,5 \times 5,5 \times 0,5$ м. Размеры башни в плане 4×4 м, элементы выполнены из парных стальных уголков $100 \times 100 \times 10$ мм. В верхнем ярусе закреплены антенны со сферической поверхностью.

Ветровая нагрузка на башню вычислялась в соответствии с рекомендациями СНиП 2.01.07–85* «Нагрузки и воздействия». Статическая нагрузка $P_{\text{ст}}$ подсчитывалась в предположении действия ветрового потока перпендикулярно одной из граней башни. Амплитудное значение пульсационной составляющей P_p определялось без учета коэффициента динамичности ξ .

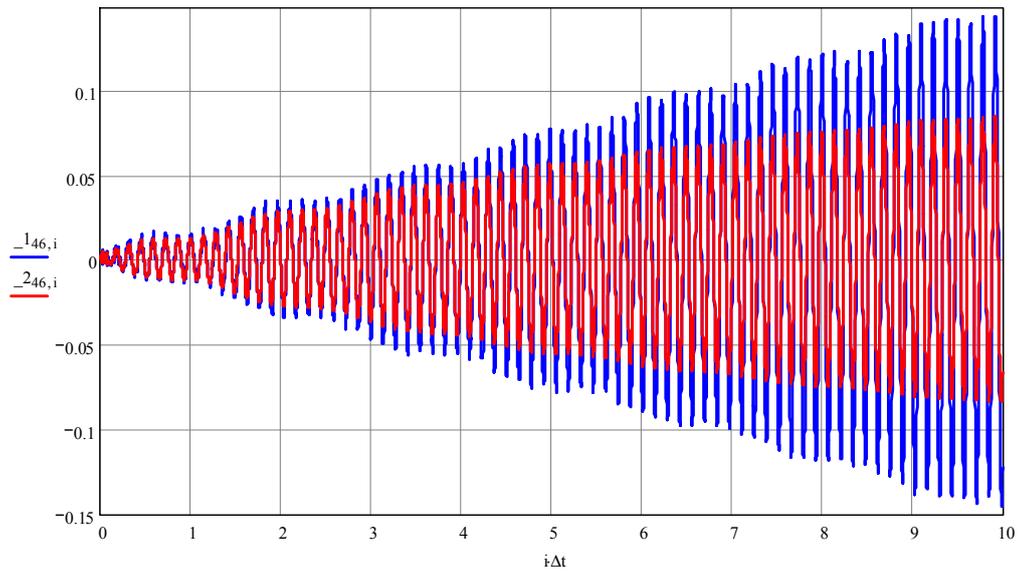


Рис. 2. Влияние внутреннего демпфирования на вынужденные колебания верхней точки фермы в резонансном режиме (первая частота)

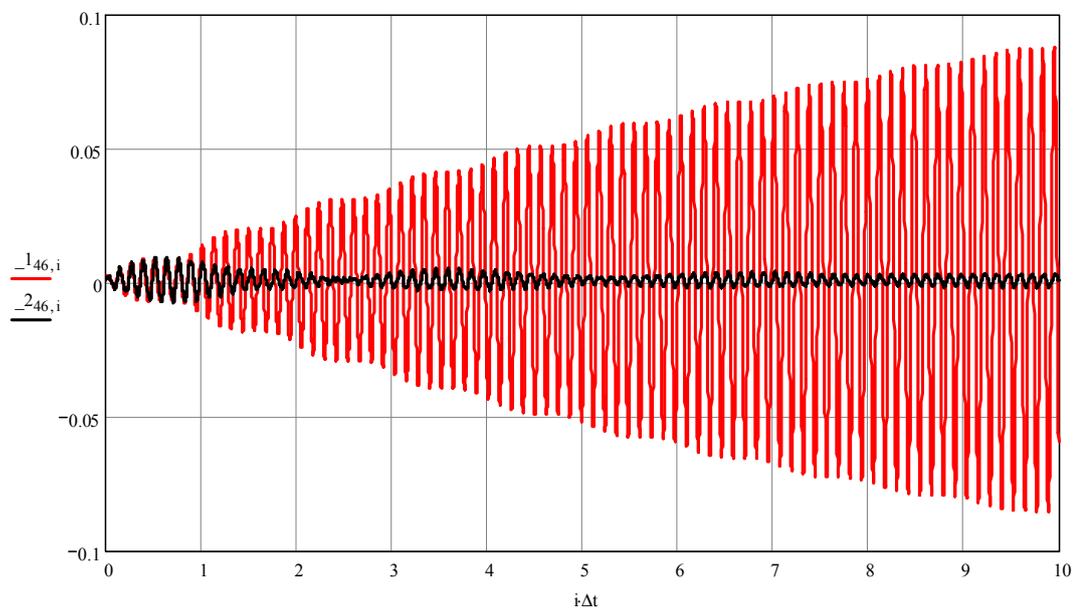


Рис. 3. Вынужденные колебания верхней точки фермы в резонансном режиме (первая частота):
1 – вынужденные колебания башни без гасителя; 2 – вынужденные колебания башни с гасителем

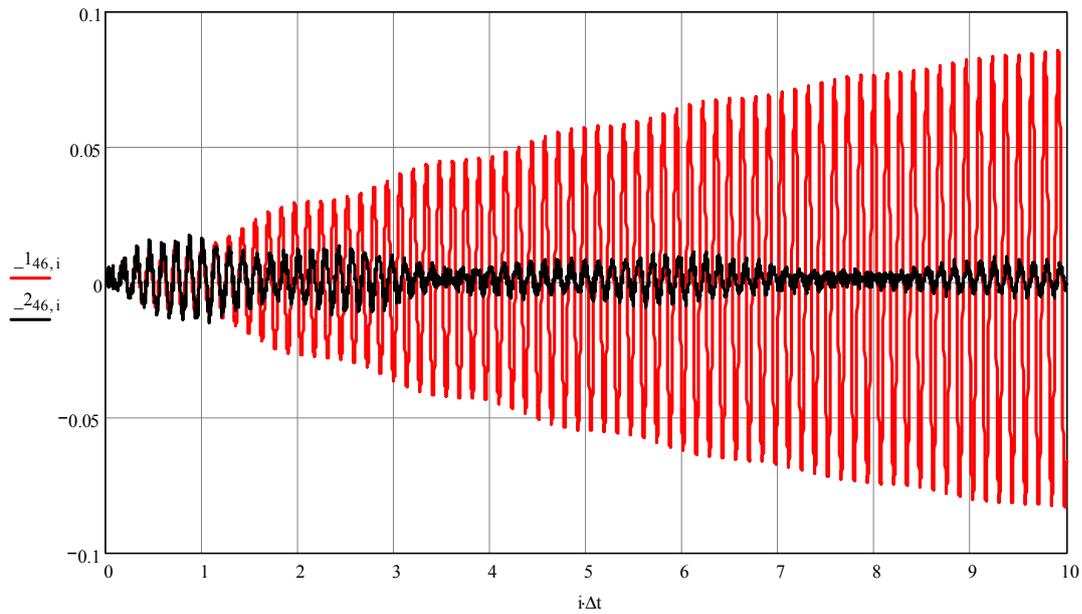


Рис. 4. Вынужденные колебания верхней точки фермы в резонансном режиме (первая частота) с учетом основания:

1 – без гасителя; 2 – с гасителем ($c_{гас}=196000$ Н/м, $\alpha_{гас}=500$ Н/(см/с))

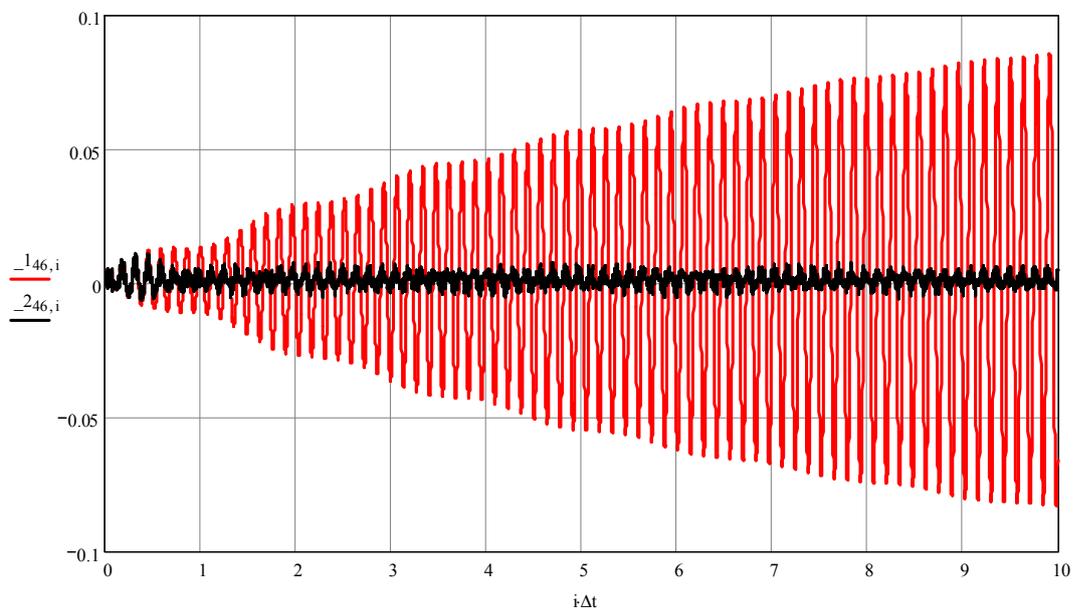


Рис. 5. Вынужденные колебания верхней точки фермы в резонансном режиме (первая частота) с учетом основания:

1 – без гасителя; 2 – с гасителем ($c_{гас}=100000$ Н/м, $\alpha_{гас}=250$ Н/(см/с))

С учетом пульсации ветрового давления узловая нагрузка может быть представлена в следующем виде [1, 3]:

$$P_n^e = P_{ст,n} + P_{p,n} \sin(\theta_1 t + \alpha_n), \quad (10)$$

где n – номер яруса; $P_{ст}$ – статическая составляющая ветровой нагрузки; θ_1 – частота пульсаций; α_n – начальные фазы колебаний пульсационной составляющей ветрового потока, с помощью которых можно приближенно учесть его турбулентность и смоделировать формы пульсаций соответственно собственным формам колебаний. Начальные фазы определяются по вектору соответствующей формы собственных колебаний башни

$$\alpha_n = \arcsin(y_n), \quad (11)$$

где y_n – значение той компоненты собственного вектора, которой соответствует горизонтальное перемещение n -го яруса. Срывы вихрей со сферических поверхностей антенн легко моделируются разностью фаз изменения узловых нагрузок одного уровня.

Для пространственной конструкции башенного типа первая и вторая собственные формы колебаний – это плавно увеличивающийся наклон в одной из двух взаимно перпендикулярных плоскостей, а третья форма соответствует угловым (вращательным) колебаниям.

В случае совпадения частоты пульсаций ветрового потока (или частоты срывов вихрей с поверхностями сооружения) с собственной частотой колебаний конструкции наблюдается явление резонанса. Учет внутреннего демпфирования конструкции [3] и диссипативных свойств грунтового основания отражает реальную работу сооружения – амплитуда резонансных колебаний имеет некоторое предельное значение, которое зависит от вязкоупругих характеристик материалов.

Для исключения резонансного движения башни в диапазоне трех первых собственных частот применим динамический гаситель колебаний кольцевого типа, обладающий тремя степенями свободы [4]. Настройка подобного устройства включает в себя подбор нескольких параметров: массы гасителя ($m_{гас}$), коэффициента жесткости его упругих связей ($c_{гас}$), радиуса подвижной части ($r_{гас}$) и коэффициента сопротивления движению амортизаторов ($\alpha_{гас}$).

Для исследуемой башни принимаем: $m_{гас}=100$ кг, $c_{гас}=196000$ Н/м, $r_{гас}=0,3$ м, $\alpha_{гас}=500$ Н/(см/с). Тогда график движения точки верхнего этажа фермы при совпадении частоты пульсаций ветрового потока с первой собственной частотой колебаний конструкции будет выглядеть следующим образом (рис. 3). Гаситель с подобранными параметрами аналогично работает и на второй и третьей частотах.

При введении в расчетную модель основания башни (с принятыми расчетными параметрами) характер работы гасителя существенно меняется. В первую очередь это связано с тем, что собственные частоты колебаний системы «основание – сооружение» значительно отличаются от частот отдельно рассчитываемого сооружения. Относительное изменение зависит от геометрических параметров сооружения и от характеристик грунта. Первая собственная частота для рассматриваемой стальной башни меняется от 5-7 % при весьма плотных грунтах до 20-25 % при грунтах средней плотности в основании. В случае обводненных грунтов основания эта величина может достигать 50 %.

Подобное изменение характеристик системы делает настройку гасителя без учета основания ошибочной, поскольку работа гасителя в этом случае недостаточно эффективна.

Для примера представлен график работы уже принятого гасителя, но с учетом работы основания (рис. 4). В качестве материала подстилающей поверхности выбран плотный грунт (песок, гравий, плотно слежавшийся щебень, глина малой влажности) с коэффициентом постели $k=75$ МПа/м. Первая частота системы изменилась на 11 %. Эффективность работы гасителя колебаний с ранее принятыми характеристиками в этом случае заметно снизилась.

С учетом работы основания для гашения первых трех частот колебаний (рис. 5) необходимо уменьшить жесткость упругих связей гасителя на 49 % (до значения $c_{гас}=100000$ Н/м) и коэффициент сопротивления движению на 50 % (до значения $\alpha_{гас}=250$ Н/(см/с)).

Заключение

Точное описание работы и правильная настройка гасителя колебаний возможны только при включении его в конечно-элементную модель, учитывающую не только жесткостные характеристики высотного сооружения, но и податливость грунтового пласта. Для отображения динамики фундаментной плиты на грунтовом основании удобно использовать винклеровскую модель. При проведении исследований были получены и реализованы в численном эксперименте соотношения, описывающие влияние вязкоупругого основания на динамическое поведение башни. Для гашения колебаний сооружений в виде высотных зданий использован и эффективно сработал на трех первых частотах нелинейный гаситель кольцевого типа.

Список литературы

1. Шеин, А.И. Моделирование параметров ветрового потока в задачах динамики [Текст] / А.И. Шеин, О.Г. Земцова // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии: сб. материалов XI Междунар. науч.-техн. конф. (30 июня – 2 июля 2010). – 2010. – С. 107–108.
2. Шеин, А.И. Оптимизация многомассовых гасителей колебаний при гармоническом воздействии [Текст] / А.И. Шеин, О.Г. Земцова // Изв. вузов. Поволжский регион. Техн. науки. – 2010. – №1(13). – С. 113–122.
3. Шеин, А.И. Создание математической модели для исследования колебательных движений стальных башен в переменном ветровом потоке [Текст] / А.И. Шеин, О.Г. Земцова // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов: сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – 2009. – С. 132–135.
4. Шеин, А.И. Схемы и теория гасителей пространственных колебаний сооружений [Текст] / А.И. Шеин, О.Г. Земцова // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – №1(8). – С. 45–52.

References

1. Shein, A.I. Modeling of parameters of a wind stream in dynamics problems [Text] / A.I. Shein, O.G. Zemtsova // Actual problems of building and construction industry: The collection of materials of XI International scientific and technical conference (June, 30th – July, 2nd, 2010). – 2010. – P. 107–108.
2. Shein, A.I. Optimization of multiunit vibration dampers under harmonic excitation [Text] / A.I. Shein, O.G. Zemtsova // Proceedings of Higher Institutions. Volga region. Engineering science. – 2010. – №1(13). – P. 113–122.
3. Shein, A.I. Creation of mathematical model for research of vibrational motions of steel towers in a variable wind stream [Text] / A.I. Shein, O.G. Zemtsova // New energy - and resource-saving high technologies in manufacture of building materials: the collection of articles of the International scientific and technical conference. – 2009. – P. 132–135.
4. Shein, A.I. Schemes and the theory spatial vibration damper of constructions [Text] / A.I. Shein, O.G. Zemtsova // Regional architecture and construction. – 2010. – №1(8). – P. 45–52.

Научно-исследовательский
Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарева

Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, д. 24,
тел./факс: (8342) 47-71-56

Селяев Павел Владимирович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Сорокин Евгений Вячеславович,
преподаватель кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: evsar@mail.ru

The research Mordvian State University
named after N.P. Ogaryov

Russia, 430000, Saransk, 24, Soviet St.,
tel./ fax: (8342) 47-71-56

Seljaev Pavel Vladimirovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building designs»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Sorokin Evgenie Vjacheslavovich,
The Lecturer of the department «Building
designs»
E-mail: evsar@mail.ru

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПЛАСТИНОК, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С АГРЕССИВНОЙ СРЕДОЙ

П.В. Селяев, Е.В. Сорокин

Изгиб пластинки под действием агрессивной среды и внешних нагрузок описывается двумя дифференциальными уравнениями. Действие агрессивной среды заменяется действием фиктивной нагрузки. Показано, что совместное решение дифференциальных уравнений дает возможность описать изменение прогибов и напряжений под действием агрессивной среды различной концентрации.

Ключевые слова: пластинка, агрессивная среда, фиктивная нагрузка.

WORK ANALYSIS OF PLATES INTERACTING WITH EXCITED ENVIRONMENT

P.V. Selyaev, E.V. Sorokin

The bend of a plate under the influence of an excited environment and external loadings is described by two differential equations. Excited environment action is replaced by fictitious loading action. It is shown that the joint decision of differential equations gives a chance to describe the change of deflections and pressure under the influence of an excited environment of various concentration.

Keywords: plates, excited environment, fictitious loading.

Численная реализация модели расчета пластинки, работающей в агрессивной среде, заключается в решении двух дифференциальных уравнений.

На первом этапе расчета пластинка последовательно догружается поперечной нагрузкой и дополнительные прогибы, вызванные приращением нагрузки, находятся из последовательного решения линейного дифференциального уравнения при заданных граничных условиях:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[D_k^0 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right] + \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(D_k^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) + \\ + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[D_k^0 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \right] = \Delta q_0 f(x, y). \end{aligned} \quad (1)$$

На втором этапе расчета дополнительные прогибы пластинки, вызванные смещением в глубь материала пластинки на величину $\Delta\delta$ фронта поражения материала агрессивной средой, определяются из последовательного решения линейного дифференциального уравнения:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[D_k^0 \left(\frac{\partial^2 w_{ac}}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w_{ac}}{\partial y^2} \right) \right] + \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(D_k^0 \frac{\partial^2 w_{ac}}{\partial x \partial y} \right) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[D_k^0 \left(\frac{\partial^2 w_{ac}}{\partial y^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w_{ac}}{\partial x^2} \right) \right] = \Delta q_\phi(x, y). \quad (2)$$

при тех же, что и на первом этапе расчета, граничных условиях, а фиктивная нагрузка определяется по формуле:

$$\Delta q_\phi = -\frac{3\lambda B_0}{h} \left(1 - \frac{2\delta}{h} + \frac{2\delta^2}{h^2} \right) \beta W_0 \Delta\delta. \quad (3)$$

Для решения задачи используем метод последовательных нагружений (МПН). Процесс нагружения разбиваем на ряд уровней (шагов). На каждом уровне задаем малое приращение и решаем линейную задачу при известных изменениях параметров, произошедших на предыдущих этапах нагружения.

На втором этапе предполагаем, что после достижения заданного уровня нагружения на пластину начинает действовать агрессивная среда. При этом происходит изменение упругопрочностных параметров, размеров области повреждения материала. При расчете на данном этапе выступает фиктивная нагрузка, создаваемая влиянием среды.

Результаты расчета прогибов пластинки с учетом действия агрессивной среды приведены на рис. 1. Анализ графических данных показывает, что с увеличением области повреждения материала происходит наращивание прогибов, а со временем – стабилизация значений прогибов на некотором уровне.

Сопоставление данных расчета прогибов по разработанной методике с данными, приведенными в справочной литературе, показывает, что расхождение составляет менее 3 %.

Анализ результатов расчета, полученных с использованием различных моделей и программных комплексов, приведен в таблице.

Анализ результатов расчета прогибов

$\frac{b}{a}$	ω_{max} , мм		
	Полученные с помощью программы, без учета физической нелинейности	Полученные с помощью программы, с учетом физической нелинейности	Теоретические (справочник проектировщика (расчетно-теоретический))
0,5	16,716	15,753	15,300
0,6	10,610	9,988	9,834
0,8	4,435	4,165	5,447
1,0	2,374	2,225	2,550
1,2	1,367	1,280	1,537
1,5	0,724	0,677	0,756
2,0	0,338	0,316	0,239

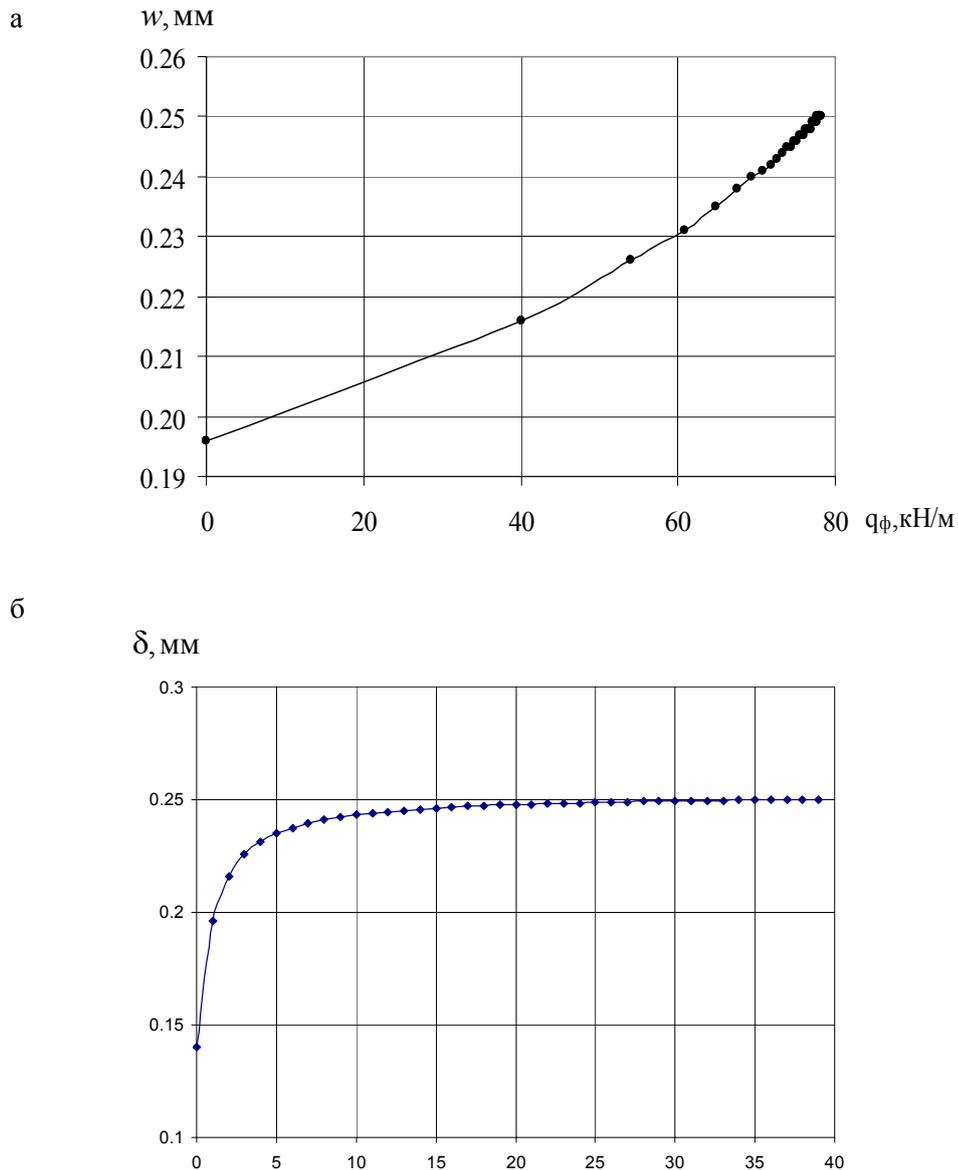


Рис. 1. Зависимость прогибов:
а – от фиктивной нагрузки; б – от глубины проникновения агрессивной среды

$$(q_0 = 100 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}, B_0 = 10\%)$$

Из сопоставления результатов расчета можно сделать вывод, что предложенная модель дает достаточно высокую точность.

На рис. 2–5 показаны зависимости уровня напряжений от концентрации среды. Верхняя ниспадающая ветка характеризует уровень критических напряжений (пределов прочности) для определенного материала, находящегося в агрессивной среде. Восходящие ветви обозначают относительную интенсивность напряжений в наиболее опасной точке. Зависимости строились для различных уровней нагружения. Кривые изменения предела прочности получены из эмпирических графиков.

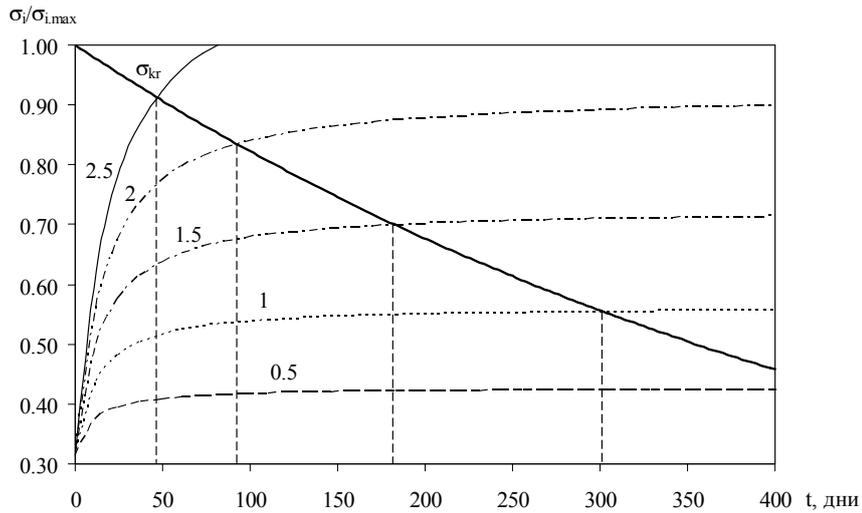


Рис. 2. Зависимости напряжений от времени для разных концентраций агрессивной среды B_0 при уровне нагружения $q/q_{\max}=0,3$

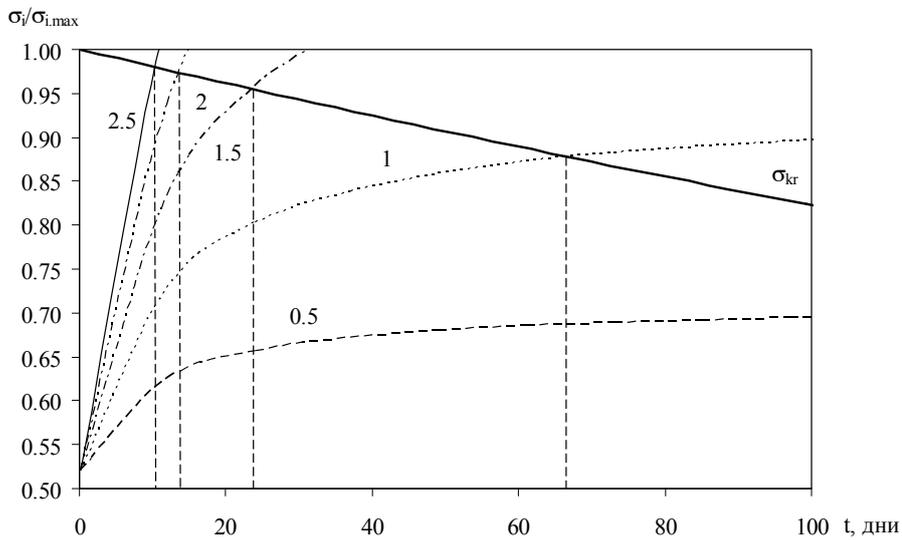


Рис. 3. Зависимости напряжений от времени для разных концентраций агрессивной среды B_0 при уровне нагружения $q/q_{\max}=0,5$

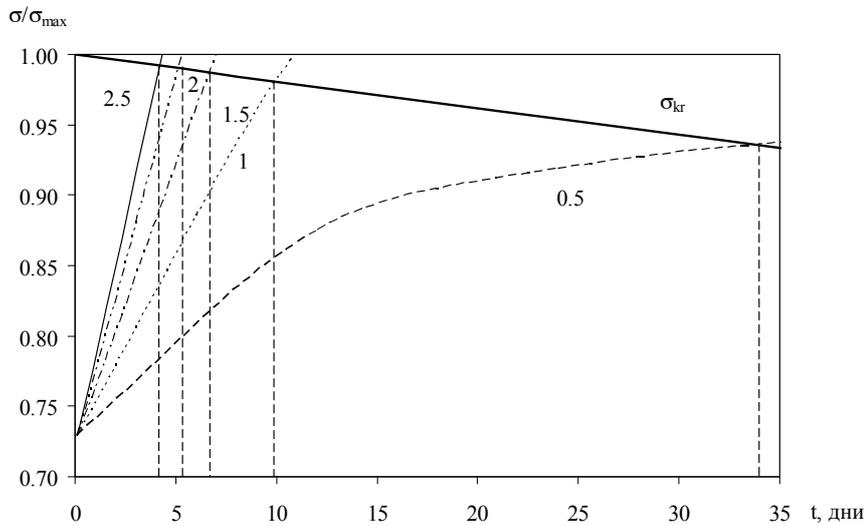


Рис. 4. Зависимости напряжений от времени для разных концентраций агрессивной среды B_0 при уровне нагружения $q/q_{\max}=0,7$

Зависимости интенсивности напряжений получены расчетным путем. Точка пересечения кривых есть тот момент времени, до которого конструкция может работать без разрушения.

Методами микроразрушений определялось изменение предела прочности, модуля деформации под действием агрессивных сред. Экспериментальные данные обрабатывались с помощью программ и представлены графически и аналитически.

На рис. 2–4 изображены зависимости напряжений от времени для разных концентраций агрессивной среды B_0 при различных уровнях нагружения $q/q_{\max} = 0,3, 0,5, 0,7$. На рис. 5 изображены графики долговечности для разных концентраций агрессивной среды B_0 . Зависимости, приведенные на рис. 2–5, были построены для пластины, находящейся в воде, выполненной из полиэфирного полимербетона.

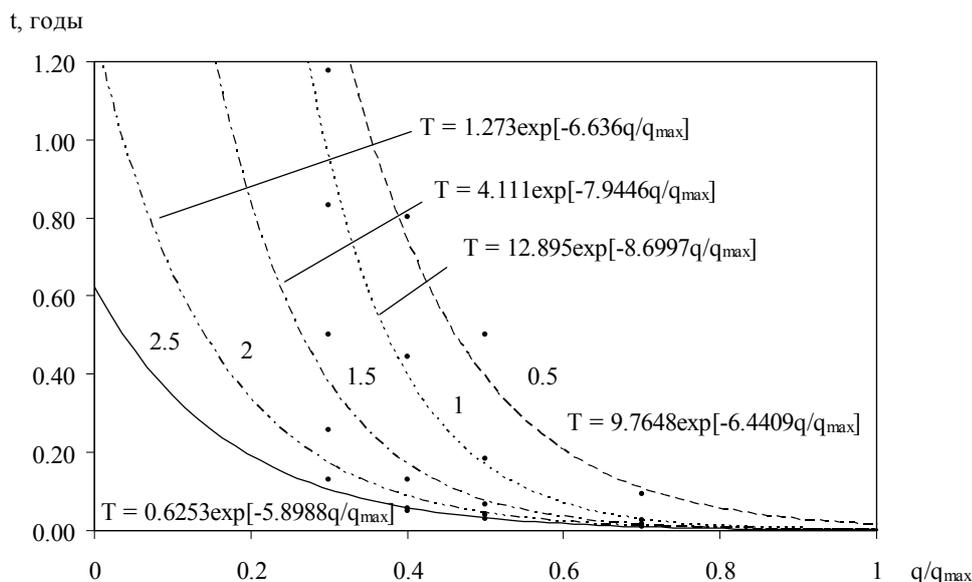


Рис. 5. Зависимости долговечности для разных концентраций агрессивной среды B_0

Анализируя эти зависимости, можно сделать вывод, что с ростом уровня нагружения и концентрации агрессивной среды долговечность материала существенно снижается.

Долговечность пластины от уровня концентрации агрессивной среды описывается экспоненциальной зависимостью, что соответствует кинетической концепции прочности, построенной на основании статистики Бозе–Эйнштейна. Зависимости приведены на рис. 5.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Бакушев Сергей Васильевич,

доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Сопротивление материалов и теория упругости»

E-mail: tim-graf_penza@rambler.ru

Зернов Владимир Викторович,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Сопротивление материалов и теория упругости»

Тел.: 89273698576

Подшивалов Сергей Федорович,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Сопротивление материалов и теория упругости»

Тел.: 89022004513

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Bakushev Sergey Vasilevich,

Doctor of Sciences, Professor, Head of the department «Resistance of materials and theory of elasticity»

E-mail: tim-graf_penza@rambler.ru

Zernov Vladimir Viktorovich,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Resistance of materials and theory of elasticity»

Tel.: 89273698576

Podshivalov Sergei Fedorovich,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Resistance of materials and theory of elasticity»

Tel.: 89022004513

ОПЫТ ОБСЛЕДОВАНИЯ КИРПИЧНЫХ СТЕН

С.В. Бакушев, В.В. Зернов, С.Ф. Подшивалов

Анализируются дефекты и повреждения двухслойных кирпичных стен гражданских и промышленных зданий, их классификация. Отмечено, что трещины в кирпичных стенах обусловлены не только несовершенством расчётных схем при выполнении прочностного и деформационного расчётов по методикам, рекомендованным СНиП, но и низким качеством строительно-монтажных работ при возведении зданий, а также их неудовлетворительной эксплуатацией. Материалы статьи основаны на обследовании зданий г. Пензы.

Ключевые слова: кирпичные стены, дефекты и повреждения, напряжённое состояние.

EXPERIENCE OF BRICK WALLS SURVEY

S.V. Bakushev, V.V. Zernov, S.F. Podshivalov

The authors have considered dual layer brick walls defects and damage and their classification. They have shown that cracks in brick walls are the result of both: inadequate durability and deformation calculation methodologies recommended by СНиП (Building norms) and low quality of building works and poor maintenance. The article data are based on buildings survey in Penza.

Keywords: brick wall, defects and damages, stress state.

В последние годы вызывает опасение состояние кирпичных зданий производственного и жилого назначения, возведённых в период с начала девятых годов прошлого столетия по настоящее время. Многие объекты находятся в недопустимом и аварийном состоянии. Это обусловлено выявлением значительного количества дефектов и повреждений несущих конструкций, особенно кирпичных стен.

Наиболее распространёнными *дефектами* кирпичной кладки в соответствии с классификатором основных видов дефектов в строительстве и промышленности строительных материалов, являются: использование кирпича прочностью ниже проектной или с дефектами; невыполнение перевязки и незаполнение раствором швов кирпичной кладки; отсутствие распределительных подушек в местах опирания несущих конструкций (балок, ферм, прогонов); отсутствие армирования кладки стен и перегородок; применение раствора прочностью ниже проектной; при кладке в зимних

условиях перевязка в многорядной системе выполняется реже, чем через три ряда и другие.

Основными и главными повреждениями кирпичной кладки, как указано в работе [1], являются вертикальные, горизонтальные и наклонные трещины, а также раздробление камня или смещение рядов кладки под опорами ферм, балок и перемычек.

Среди возможных причин возникновения повреждений кирпичных стен следует выделить механические, динамические, коррозионные, температурные, влажностные воздействия, а также повреждения, обусловленные неравномерностью деформаций оснований. В частности, к повреждению кирпичных стен приводят некачественная перевязка швов каменной кладки; утолщение или утонение горизонтальных швов; некачественное и неполное заполнение вертикальных швов; пустошовка; некачественное армирование каменной кладки (или его отсутствие); нарушение технологии возведения кирпичной кладки в зимних условиях; несоответствие марки кирпича и раствора проектному решению; солевая коррозия кирпича и так далее.

Причины повреждений конструкций из кирпичной кладки подразделяются на 4 группы.

1. *Конструктивные ошибки*: необоснованные усложнения архитектурных форм; применение разноэтажных блоков зданий, примыкающих друг к другу на отдельных фундаментах, что может приводить к неравномерным осадкам отдельных частей здания; несоответствие несущей способности материала стен действующей нагрузке; применение для кладки не соответствующих нормативам растворов и материалов; нарушение пространственной жёсткости стенового каркаса и так далее.

2. *Ошибки проектирования*: недоработки нормативных документов (СНиП П-22-81 рекомендует упрощенные методы расчетов кирпичных стен и использование расчётных сопротивлений сжатию и растяжению при одноосном напряжённом состоянии как для монолитной бездефектной кладки); несовершенство применяемых конструктивных схем зданий; недоработки конструктивных решений, традиционно «тиражируемых» в проектной документации; сокращение резервов прочности и жёсткости стеновых материалов из-за назначения толщин стен не по конструктивным или теплотехническим требованиям, а на основании прочностных расчетов; отсутствие обоснования проектных решений расчетами стеновых конструкций в пространственной постановке задачи с учетом температурных воздействий, с оценкой критериев прочностных характеристик материалов при двух- и трехосном напряженном состоянии; применение для несущих элементов керамического щелевого кирпича и растворов высоких марок, что приводит к увеличению «хрупкости» кладки; непринятие в расчет перераспределения действующих нагрузок, приводящее к перенапряжению кирпичных простенков; увеличение этажности или надстройка здания без учёта действительной несущей способности стен и фундаментов; расположение вновь возводимого здания в непосредственной близости от существующего.

3. *Производственные и технологические ошибки*: применение непроектных материалов с низкими прочностными характеристиками; уменьшение эффекта, связанного с возникновением двух- и трехосного сжатия в больших стеновых массивах из-за некачественной кладки и внутренних многочисленных пустот; пробивка проёмов в кирпичной кладке стен (с нарушением технологической последовательности); нарушение технологии возведения здания; оштукатуривание поверхности кладки цементным либо жирным раствором, а также окраска кирпичной поверхности масляными красками, обладающими малой воздухо-паропроницаемостью, что нарушает нормальный влажностный режим кирпичных стен; некачественная заделка ранее пробитых гнезд или штраб; монтаж элементов перекрытий с нарушением проекта производства работ; некачественное армирование кирпичной кладки.

4. *Неудовлетворительная эксплуатация несущих конструкций здания*: просадка фундаментов из-за неудовлетворительного технического состояния подземных инженерных коммуникаций; систематическое переувлажнение кладки стен в результате неисправных карнизных сливов кровель, водосточных труб, отмостки вокруг здания;

выветривание раствора на значительную глубину кладки; промерзание кладки из-за её неудовлетворительной гидро- и теплоизоляции.

Характер разрушения кладки и степень влияния многочисленных факторов на её прочность объясняются особенностями напряженного состояния при сжатии. Разрушение кирпичной кладки при сжатии начинается с появления отдельных вертикальных трещин, как правило, над и под вертикальными швами, что объясняется явлением изгиба и среза камня, а также концентрацией растягивающих напряжений над этими швами.

При обследовании ряда кирпичных зданий г.Пензы были выявлены, в частности, повреждения кирпичной кладки несущих стен в виде вертикальных, горизонтальных и наклонных трещин, проявившихся лишь на внутренней поверхности кирпичных стен. На наружной поверхности стены эти трещины отсутствуют, или, по крайней мере, ширина раскрытия этих трещин на порядок меньше. Указанный характер повреждений несущих кирпичных стен наблюдается как в зданиях небольшой высоты (до 3-х, 4-х этажей), так и в зданиях высотой до 10-этажей и более, причём на верхних этажах эти повреждения проявляются в большей степени, чем на нижних. Следует отметить, что описываемые несущие стены являются двухслойными: внутренний слой выполнен из обыкновенного полнотелого красного кирпича марки 100, внешний – из облицовочного облегчённого кирпича с щелевыми пустотами, раствор для кирпичной кладки – марки 75.

На рис.1 показан фрагмент внутренней части северной стены с характерными трещинами на восьмом этаже административно-лабораторного корпуса зданий института усовершенствования врачей, построенного в 1991 г.

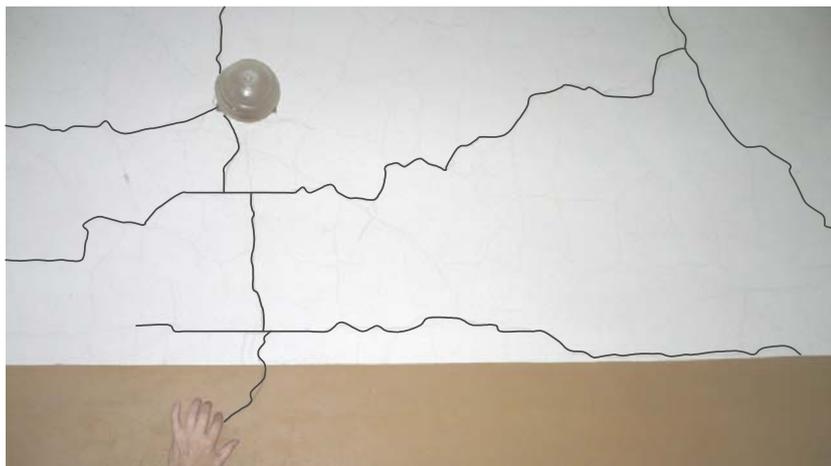


Рис. 1. Характерные трещины внутренней части стены

На рис. 2 показан характер трещин на внутренней поверхности стены запасного выхода учебного корпуса №216 «Б», ПГТА.

Наличие вертикальных и горизонтальных трещин только на внутренней поверхности стены свидетельствует о недостаточной несущей способности внутреннего слоя двухслойной кирпичной стены, воспринимающей нагрузку от вышележащей кирпичной кладки, плит перекрытия и покрытия. Определённую роль при этом играет тот факт, что прочность облицовочного кирпича со щелевидными пустотами выше прочности обыкновенного глиняного полнотелого кирпича.

Таким образом, возможными причинами указанных повреждений кирпичной кладки, наряду с конструктивными, производственными и технологическими ошибками, являются недочёты в прочностных расчётах. Методика расчета по СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции» ориентирует на ручные методы расчета, на отдельный учет ряда нагрузок и воздействий, допускает условное «расчленение» конструкций на простые элементы. При таком упрощении прочностные расчеты осуществляются не по внутренним усилиям, а по условно собранным нагрузкам без учета их перераспределения, температурных и других составляющих. Вместе с тем,

как отмечено в работе [3], каменная кладка является неоднородным упругопластическим телом, состоящим из камней и швов, заполненных раствором. Этим обуславливаются следующие особенности ее работы: при сжатии кладки усилие передается неравномерно вследствие местных неровностей и неодинаковой плотности отдельных участков затвердевшего раствора. В результате камни подвергаются не только сжатию, но также изгибу и срезу, причём зачастую в двух плоскостях, и, кроме того, и кручению.

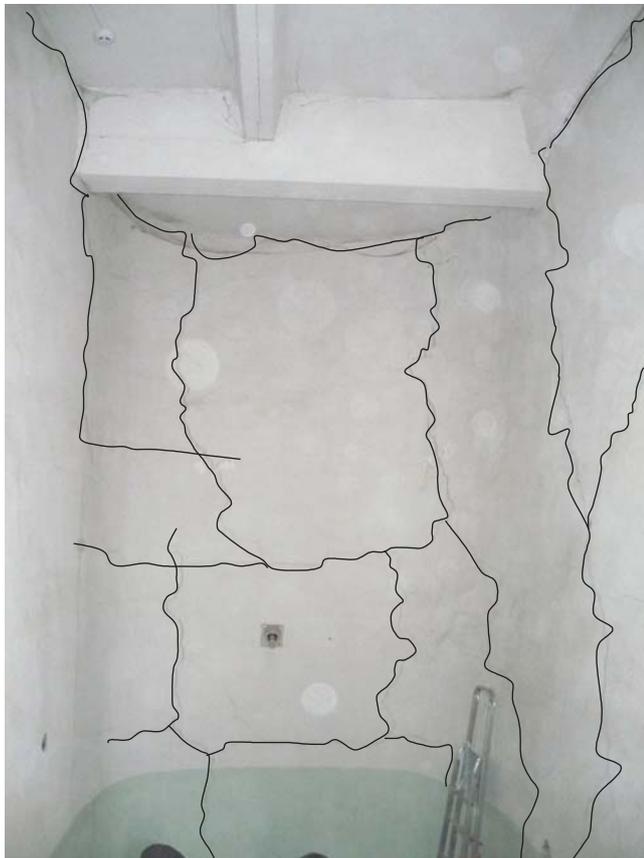


Рис. 2. Характер трещин на внутренней поверхности стены

Именно наличием пространственного напряжённо-деформированного состояния в кирпичной кладке, являющейся в соответствии с проектным решением анизотропным композитным материалом, можно объяснить тот факт, что повреждения в кладке стен наблюдаются в большей мере на верхних этажах здания, где стена работает не только на внецентренное сжатие, сдвиг, но и на кручение как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости.

Расчёт десятиэтажного административно-лабораторного корпуса (АЛК) института усовершенствования врачей (г.Пенза) с использованием проектно-вычислительного комплекса SCAD подтверждает вывод о недостаточной несущей способности внутренней части несущей стеновой конструкции, выполненной из кирпича.

Корпус АЛК выполнен в железобетонном каркасе по серии ИИ-04 с размерами в плане 15×54 м. С северной и южной сторон к нему примыкают кирпичные блоки с размерами в плане $6,4 \times 6,0$ м и $6,0 \times 6,0$ м с несущими стенами толщиной 640 мм до пола седьмого этажа, и толщиной 510 мм выше него. Как показали результаты натурного обследования, кирпичные стены связаны с железобетонным каркасом здания лишь плитами перекрытий и покрытий. Кирпичные стены опираются на фундаментные блоки, а колонны – на железобетонные стаканы, установленные на перекрытия спецподвала, выполненного в сборно-монолитном железобетонном варианте по серии У-01-01.

Нагрузка от соседних зданий, примыкающих к зданию АЛК, передаётся на плиту перекрытия спецподвала в виде сосредоточенных сил. При статическом расчёте рамно-связевого каркаса принято шарнирное соединение ригелей с колоннами. Плиты перекрытия и покрытия моделируются пластинами и имеют шарнирное соединение с ригелями и кирпичными стенами. Колонны жестко заземлены в фундаменте на уровне перекрытия спецподвала. Стены кирпичных блоков моделируются пластинами с модулем деформации кладки $E = 1530$ МПа и модулем сдвига $G = 1224$ МПа [4, 5]. Сопряжение продольных и поперечных стен принималось жёстким.

Вычисленные по методике СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции» расчётные сопротивления кирпичной кладки равны: осевому сжатию $R = 1,22$ МПа; осевому растяжению $R_t = 0,144$ МПа; растяжению при изгибе $R_{tb} = 0,2$ МПа; срезу $R_{sq} = 0,52$ МПа.

Предельные напряжения $\sigma_{\text{пред}}$, обеспечивающие прочность внецентренно-сжатых неармированных элементов каменных конструкций (кирпичных стен), зависят, согласно СНиП II-22-81, от толщины стены. Для стены толщиной $h = 0,64$ м и высотой этажа $H = 3,6$ м величина $\sigma_{\text{пред}} = 114,048 \frac{\text{Т}}{\text{М}^2}$; для стены толщиной $h = 0,51$ м и высотой этажа $H = 3,6$ м величина $\sigma_{\text{пред}} = 109,33 \frac{\text{Т}}{\text{М}^2}$.

Механические характеристики грунтового основания под фундаментной плитой здания принимались по всей опорной поверхности одинаковыми.

Для определения коэффициента постели использовалась формула:

$$C_1 = \frac{N}{A \cdot S},$$

где $A = 1099,27 \text{ м}^2$ – площадь фундаментной плиты; $S = 12$ см – рекомендуемая осадка для здания с железобетонным каркасом, согласно прил. 4 СНиП 2.02.01-03. «Основания зданий и сооружений. Москва 1985 г.»; $N = 19867,2$ т – нормативная масса здания, принятая согласно протоколу расчета. В соответствии с расчётом

$$C_1 = 150 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3}.$$

Статический расчёт здания АЛК подтвердил, что растягивающие и сжимающие напряжения во многих местах превышают предельные ($R_t, \sigma_{\text{пред}}$), что соответствует наличию трещин в кирпичных стенах. Результаты расчётов показали, что главные растягивающие напряжения на внутренней поверхности наружных стен здания больше, чем на наружной поверхности, причём на верхних этажах (выше шестого) они больше, чем на нижних; главные сжимающие напряжения на внутренней поверхности стены меньше, чем на наружной, причём на нижних этажах они больше, чем на верхних.

В качестве иллюстрации на рис. 3 и 4 показаны поля растягивающих (S_1) и сжимающих (S_3) напряжений выше восьмого этажа в стене по оси Л между осями 1–3. Из рисунков видно, что растягивающие и сжимающие напряжения значительно превышают расчётное сопротивление кладки, равное $14,4 \text{ т/м}^2$, и предельное напряжение, равное $109,3 \text{ т/м}^2$.

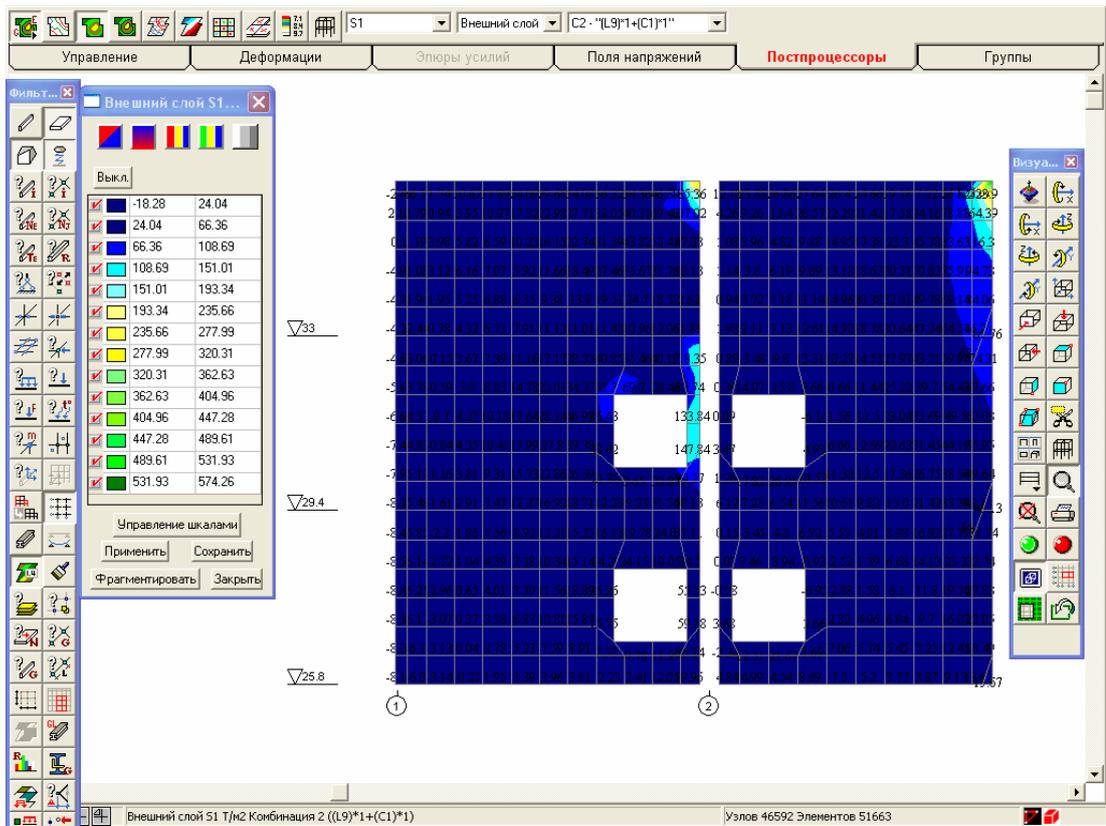
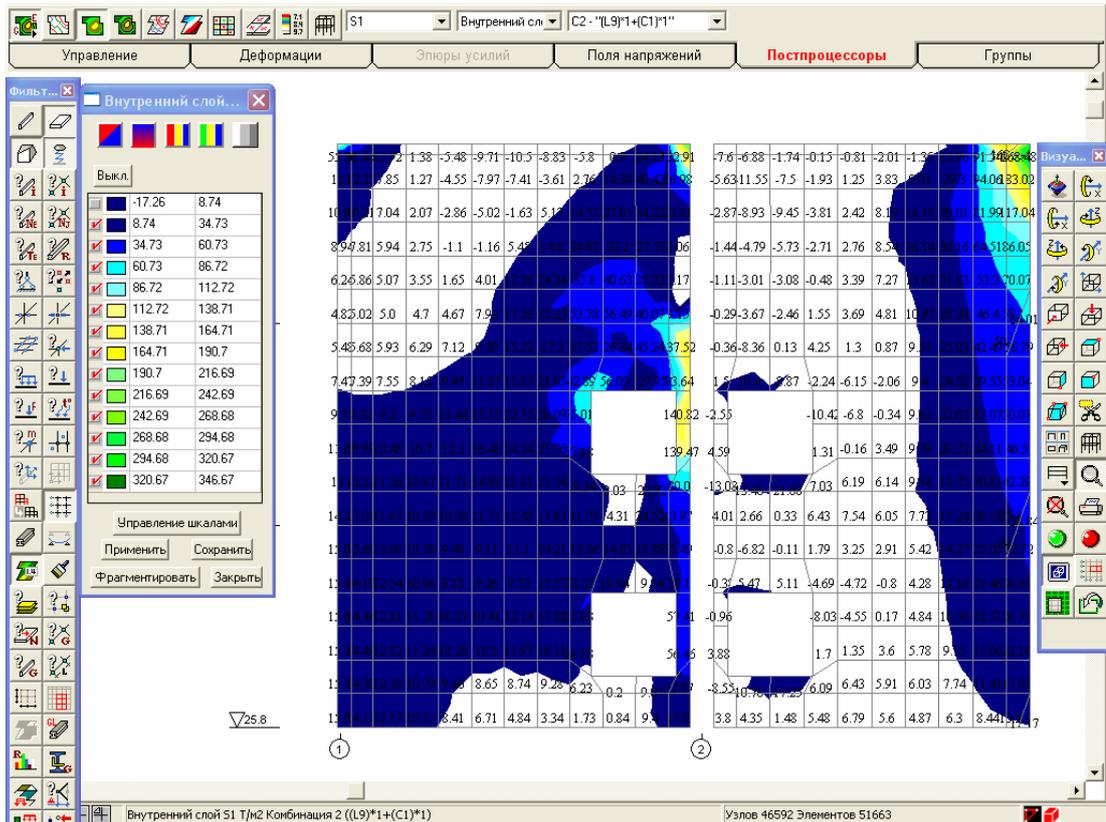


Рис. 3. Поля растягивающих напряжений в стене Л между осями 1 – 3

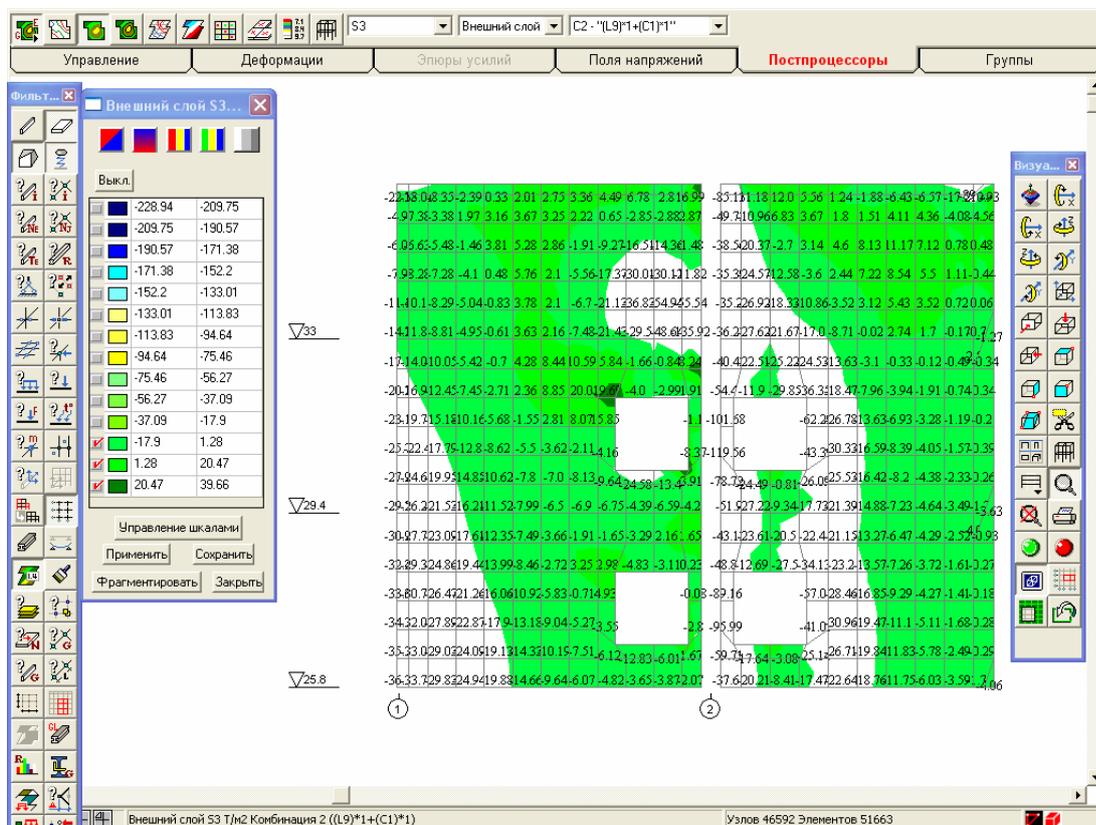
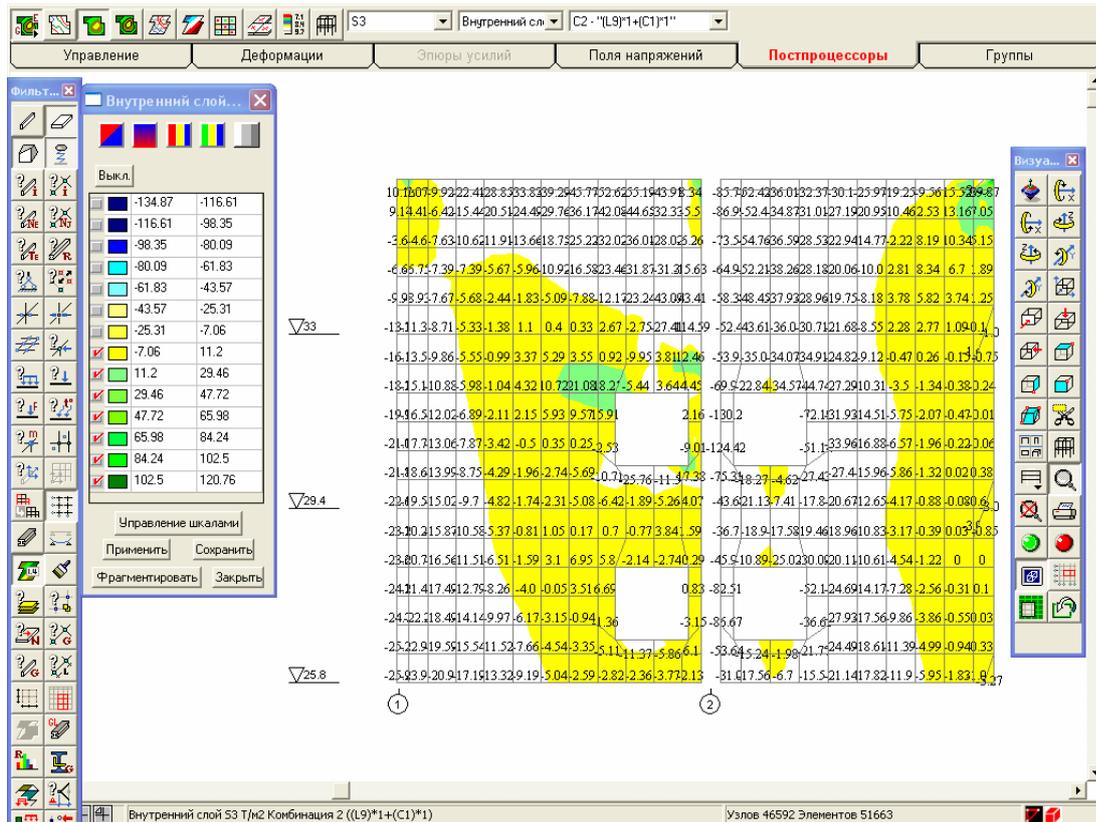


Рис. 4. Поля сжимающих напряжений в стене Л между осями 1 – 3

Таким образом, при расчёте двухслойной кирпичной кладки нужно использовать не упрощённые методики, а следует рассматривать стеновую конструкцию как единое целое с учётом её пространственной работы совместно с основанием; принимать во внимание, что стена является неоднородной конструкцией, выполненной из анизотропного упругопластического материала; в стеновой конструкции развивается сложное напряжённо-деформированное состояние; стеновая конструкция работает в условиях неоднородного температурного поля и температурные воздействия могут существенно влиять на её напряжённо-деформированное состояние.

Следует отметить, что разрушение кирпичных стен в процессе эксплуатации обусловлено не только ошибками проектирования и несовершенством методов прочностного и деформационного расчёта, но также конструктивными ошибками и низким качеством производства работ при возведении зданий. Так, в кирпичной кладке административно-лабораторного корпуса (АЛК) института усовершенствования врачей отсутствуют армопояса и армирование кирпичной кладки, отсутствуют связи с железобетонными колоннами основного каркаса здания. Все эти мероприятия по усилению кирпичной кладки и её связи с колоннами предусмотрены проектом.

Неудовлетворительная эксплуатация здания также влияет на прочность несущих конструктивных элементов. Вскрытие засыпки фундаментной плиты здания АЛК обнаружило на ней слой воды. Это привело к неравномерной осадке фундаментной плиты и обусловило значительный пространственный крен всего здания и, как результат, значительные повреждения в несущих стеновых конструкциях кирпичных блоков здания АЛК.

Список литературы

1. Рекомендации по оценке надёжности строительных конструкций по внешним признакам [Текст] / ЦНИИПромзданий ГОССТРОЯ СССР. – М., 1989.
2. СНиП II-22–81. Каменные и армокаменные конструкции [Текст]. – М., 1995.
3. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий [Текст] / АО «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ». – М., 1977.
4. ГОСТ 8462–85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе [Текст]. – М., 1985.
5. Фалевич, Б.Н. Проектирование каменных и крупнопанельных конструкций [Текст] / Б.Н. Фалевич, К.Ф. Штритер. – М.: Высш. шк., 1983.
6. СНиП 2.02.01–03*. Основания зданий и сооружений [Текст]. – М., 1985.

References

1. Recommendations for estimation of building structures reliability according to their exterior features / CNIIProm/.danij of GOSSTROY of USSR. – M., 1989.
2. Building norms 11-23-81. Masonry and reinforced structures. – M., 1989.
3. Manual on building structures survey./ AO «CNIIPROMXDANIJ». – M., 1977.
4. GOST (State All-Union Standard) 8462-85. Wall materials. Methods oi determining bending and compression stress limits. – M., 1985.
5. Boris Falevich, K.f.Shriter. Designing of stone and large-panel structures. – M.: Higher school, 1983.
6. Building norms 2.02.01-03*. Buildings and structures foundations. – M., 1985.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Гусев Николай Иванович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология строительного производства»
Тел.: (8412) 92-69-29

Кубасов Евгений Александрович, студент гр. ПГС-54
Тел.: (8412) 49-95-32

Кочеткова Майя Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительная и теоретическая механика»
Тел.: (8412) 48-43-47

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, 440028, Penza, Titov St., 28, tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Gusev Nikolai Ivanovich, Candidate of Sciences, Professor of the department «Technology of construction production»
Tel.: (8412) 92-69-29

Kubasov Evgeniy Alexandrovich, student of group PGS-54
Tel.: (8412) 49-95-32

Kochetkova Maya Vladimirovna, Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Construction and theoretical mechanics»
Tel.: (8412) 48-43-47

СРЕДСТВА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ НАЛЕДИ С КРЫШ

Н.И. Гусев, Е.А. Кубасов, М.В. Кочеткова

Дана оценка эффективности технических средств, которые могут быть использованы в борьбе с наледями и сосульками на крышах.

Ключевые слова: греющие кабели, гидрофобные составы, генерирующие и лазерные установки, использование электроимпульса и ультразвука.

EQUIPMENT FOR AUFES REMOVAL FROM ROOFS

N.I. Gusev, E.A. Kubasov, M.V. Kochetkova

The authors shows technical tools that can be used to eliminate ice dams and icicles from roofs and assess their efficiency.

Keywords: heating cables, hydrophobic compounds, generating and laser systems, electroimpulse and ultrasound use.

Проблема устранения с крыш отапливаемых зданий наледей и сосулек не перестает быть актуальной, хотя арсенал средств борьбы, как и количество предложений по ее решению, постоянно растет.

Решить тему сосулек-«убийц» можно только с помощью одного типа крыш – это крыши с внутренним водостоком и парапетным ограждением по их периметру. Но их применение возможно лишь в новом строительстве, а огромное количество существующих крыш требует технической помощи. Эффективность эксплуатации «холодных» крыш, что достигается путем удаления с чердака всех источников тепла и использования эффективной вентиляции, анализировалась в [2]. Здесь предлагаются различные альтернативные методы борьбы с наледями и сосульками.

Простой антиобледенительной системой является устройство *греющих кабелей*. Кабельная система обогрева представляет собой прокладку специального нагревательного кабеля, который дает определенное тепло для качественного обогрева кровли и водостока. Кабель обеспечивает обогрев на высоком уровне свесов, желобов, ливне-стоков, воронок, а также водостоков. Использование кабельных систем позволяет защитить указанные элементы от деструктивных изменений, избавить заказчика системы обогрева от необходимости их сезонной замены, которую периодически приходится осуществлять, если ливне-стоки, водостоки, воронки или желоба были повреждены в результате обледенения.

Греющие кабели должны отвечать ряду требований, а именно: высокой механической прочности, стойкости к атмосферным осадкам и солнечной радиации, прочности оболочки и т.д. Применяемые на кровле кабели должны быть хорошо изолированы, иметь металлический экран, должен быть закрыт доступ для посторонних.

Рассматриваемая кабельная система обогрева состоит из греющей части, распределительной сети подводящих кабелей, распределительных коробок, а также органа управления, основной частью которого является мини-метеостанция – термостат, к которому подключены датчики температуры, влажности и осадков. Для пуска системы датчики должны работать согласованно между собой. Допустим, датчик влажности зафиксировал появление влаги. Если при этом температура находится в диапазоне, когда вода может замерзать, то термостат включает систему, провода начинают греться, не давая образоваться наледи. Изменились условия: температура понизилась до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (или повысилась до $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$), влажность исчезла, снегопад закончился – и система автоматически выключается, снова переходя в режим ожидания.

В системах антиобледенения используются резистивные и саморегулирующиеся кабели (самреги). Основные производители резистивных кабелей, представленные на российском рынке, это NOKIA (Финляндия), DE-VI (Дания), ALCATEL (Норвегия), ССТ (Россия). Это кабели с постоянным сопротивлением по всей длине широко применяются в отопительных системах подогрева полов. Кабели для кровли отличаются от кабелей для пола, поскольку к ним предъявляются другие требования. Отсюда некоторые их недостатки. Так, секции кабеля одной конструкции имеют жестко определенную длину, что затрудняет проектирование и монтаж системы. Условия эксплуатации кабеля на кровле могут быть разными. Например, если один кусок кабеля лежит под снегом, другой – покрыт листвой, третий – висит в воздухе, то теплоотдача этих кусков одинакова. Датчик фиксирует влажность, и система включается, но при этом эффективно работает только «заснеженный» участок кабеля, два других перегреваются напрасно. Тепловыделение каждого участка саморегулирующего кабеля изменяется в зависимости от фактических потерь тепла. Каждый участок кабеля приспосабливается к окружающим условиям. Верхний участок находится в холодной среде – при этом материал матрицы сжимается, образуя множество токопроводящих дорожек, и тем самым снижается электрическое сопротивление. При прохождении тока происходит активное выделение тепла. А в теплой среде материал расширяется, дорожки разрываются, сопротивление увеличивается, и выделение тепла снижается, что и является достоинством этих кабелей. Другое преимущество самрегов – в простоте раскроя; их нарезку можно производить прямо на крыше. Саморегулирующиеся кабели дороже резистивных в 5-6 раз. Однако при хорошем проектировании системы на самрегах требуется меньше распределительных кабелей. Кроме того, они значительно экономичнее резистивных.

Применяются также зональные и бронированные кабели. Зональные во многом подобны резистивным кабелям, но имеют одно преимущество саморегулирующихся кабелей – их можно резать на объекте. У них не очень большое превышение пускового тока над номинальным током (25-30 %). Целесообразно использовать зональные кабели на кровлях в длинных водостоках (40 м и более), а также в системах, где необходимо абсолютное отсутствие наледи. При этом жесткая характеристика зонального кабеля становится его достоинством.

Бронированные греющие кабели, которые появились в самое последнее время, по своим характеристикам близки к резистивным кабелям. Существенным является резкое увеличение допустимой температуры на жиле (до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$), а также механической прочности оболочки и ее теплоотдающей способности. Бронированные кабели находят широкое применение в системах антиобледенения, для инверсионных кровель и бетонных водоотводных лотков, поскольку являются единственными греющими кабелями, допускающими укладку непосредственно в бетон. К тому же они имеют сравнительно низкую цену.

В домах с простой плоской крышей можно обойтись резистивными кабелями. Не всегда нужна и мини-метеостанция, так как существуют крышные термостаты,

которые включают систему просто в определенном диапазоне температур (например, от -8 до +3 °С). Такие термостаты в четыре раза дешевле. Однако на сложных кровлях резистивные кабели не годятся, да и система управления должна включать не одну, а несколько метеостанций; тогда нужно применять системы, комбинирующие оба вида кабелей.

Следует соблюдать нормативы установленной мощности греющих кабелей для различных частей системы – горизонтальных лотков и желобов, вертикальных водостоков. При установке системы необходимо обеспечить свободный путь полного стока воды, образующейся в результате работы системы, с кровли.

Существуют границы мощностей греющей части систем (см. рисунок), несоблюдение которых приводит к неэффективному действию оборудования в указанном диапазоне температур, а значительное превышение последних вызовет лишь перерасход электрической мощности без улучшения работы системы. К ним относятся:

- 1) удельные мощности греющих кабелей, устанавливаемых на горизонтальных частях кровли. Суммарная удельная мощность на единицу площади поверхности обогреваемой части (лоток, желоб и т.п.) должна составлять не менее 180-250 Вт/м²;
- 2) удельная мощность греющего кабеля в водостоках должна быть не менее 25-30 Вт на 1 метр длины водостока и увеличиваться по мере удлинения водостока до 60-70 Вт/м.

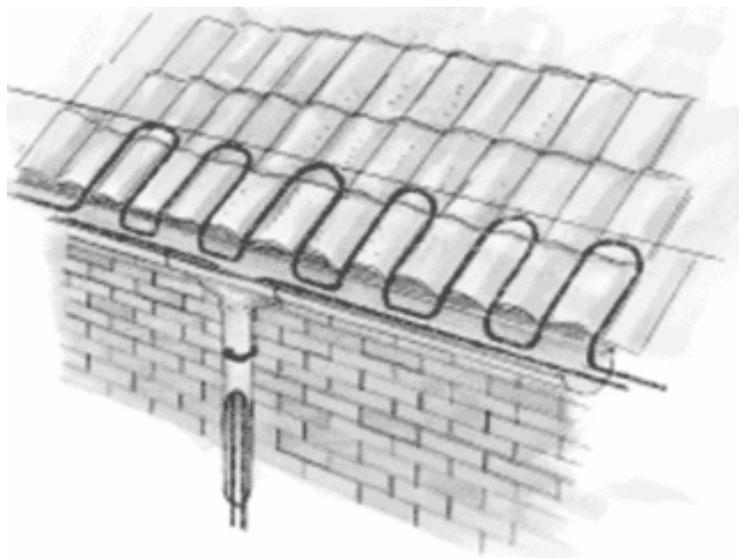


Схема расположения греющих кабелей

Греющие кабели должны быть хорошо закреплены. Целесообразна укладка греющих кабелей в бетонную или цементно-песчаную стяжку. Это значительно повышает эффективность нагрева за счет использования теплоаккумулирующих свойств бетона, а также предохраняет кабель от повреждений. Затраты на одно устройство составляют 250 тысяч рублей без учета затрат электричества.

Использование *гидрофобных композиций* в качестве средств против обледенения хотя и не предотвращает образования льда, но обеспечивает быстрый сход вновь образуемого водного льда при повторяющихся циклах замерзания-оттаивания.

По данным Международной Академии Холода (МАХ), сила сцепления водного льда с материалами кровли весьма велика (сталь – более 0,16 МПа, бетон – более 0,22 МПа). Адгезионная прочность льда с покрытием из композиции антиобледенения практически полностью отсутствует и составляет значительно менее 0,02 МПа.

Антиобледенительные композиции из растворов синтетического каучука, кремний-органические и фторопластовые, работают по принципу тефлоновой сковородки: на поверхностях, покрытых составом, практически отсутствует сцепление льда с

кровельным материалом. Это обеспечивает сход вновь образующегося снега и льда, упрощает работы по очистке крыш. Антиобледенительные композиции из синтетического каучука, позволяющие производить их нанесение на существующие и новые объекты в естественных условиях природной среды, получены впервые. Антиадгезионные для водного льда полимерные пленки прочны, стойки к ультрафиолетовому излучению, коррозии и кислотным дождям, обладают высокими гидрофобными свойствами. Главное достоинство этого вида защитных систем в том, что их использование направлено на профилактику льдообразования, а также не требует дополнительного вмешательства после устройства покрытия. Стоимость обработки 1 м² кровли составляет около 300 руб. при цене 1 кг состава в пределах 1 тыс. руб. Если антиобледенительные системы не применяют, то прибегают к механическому удалению наледи и снега. Этот метод отличается от предыдущих тем, что он направлен не на профилактику льдообразования, а на ликвидацию уже имеющейся наледи и сосулек. Его условно можно разделить на два вида по принципу выполнения работ по очистке: удаление снега и наледи с применением генерирующих установок или вручную.

Ликвидация наледи с использованием различных установок является наиболее прогрессивным способом борьбы с ней.

Возможно применение *лазерных установок*. Необходимые для этих целей установки имеют довольно большие размеры, они весьма энергозатратны и дороги (около 6 млн. руб.). Работать с таким лазером смогут только специально обученные специалисты. Инфракрасное излучение лазера очень вредно для зрения. Оператор должен работать в специальных очках, а жители окрестных домов обязаны занавешивать окна.

Идея использовать *электроимпульс* для борьбы с обледенением крыш была разработана еще в 80-х годах прошлого века в Институте физики твердого тела (ИФТТ) РАН. Применение электроимпульса в борьбе с сосульками действительно эффективно, однако оснащение крыш специальным оборудованием слишком дорого. Система работает в автоматическом режиме: включается два раза в сутки на 10 минут либо четыре раза, если снегопады сильные. Она сбрасывает свежевывапавший снег с крыши с помощью индукционных полей. Таким способом можно очищать крыши с любым покрытием. Затраты энергии при этом чрезвычайно малы: на большой дом потребуется устройство мощностью в 40-60 Вт. К сожалению, стоимость установки пока велика.

Предлагается сбивать сосульки *паром*, но на дом потребуется от полутора миллионов рублей. Если использовать для этого существующие мобильные парогенераторы, то понадобится еще подъемник.

Удалять сосульки можно и с помощью мощного *ультразвукового импульса*. Специальное устройство, испускающее импульсы, хотя и не требует больших затрат энергии, но стоит весьма дорого, так как затраты на 1 погонный метр карниза составляют до 8000 руб. К тому же присутствует фактор волнового воздействия на человека.

Удаление снега и наледи *вручную* – это традиционный и широко применяемый метод устранения сосулек. Выполняется он с крыши или вышек с помощью различных инструментов. Этот метод можно считать безальтернативным и самым дешевым. Например, в полумиллионной Пензе в ведении муниципалитета находится более 3000 зданий. При этом каждая управляющая компания способна отправить на выполнение работ всего 2-3 экипажа с вышками, и за рабочий день они способны обслужить лишь около 10 домов. В среднем в каждом районе города в течение дня обрабатывается максимум 100 – 120 крыш. А наледь образуется каждодневно. Поэтому коммунальным службам приходится обходиться полумерами и производить лишь частичную очистку крыши с тех сторон, которые примыкают к тротуару или проезжей части. Там, где люди не ходят, сосульки просто не трогают. При этом работы приходится периодически через каждые несколько дней повторять.

Примерные расценки на обслуживание крыши

Наименование работ	Единица измерения	Стоимость, руб.
Сбивание сосулек по периметру крыши	пм	от 15
Удаление наледи, снега и сосулек с карниза крыши шириной полосы 1.5–2 метра	пм	от 20
Удаление наледи, снега и сосулек с карниза крыши здания+чистка водосточных желобов шириной полосы 1.5–2 метра	пм	от 60
Чистка всей крыши	м ²	от 15
Сезонное обслуживание кровли	пм или м ²	от 150 до 180

Выбор того или иного способа борьбы с сосульками и наледями остается за эксплуатационниками. Однако проблему наледей и сосулек можно решить только традиционным и годами проверенным способом – закрыть выход тепла на чердак и снимать с крыш снег, а не ледники.

Список литературы

1. Гусев, Н.И. Эксплуатация чердачных крыш многоэтажных зданий в зимний период [Текст] / Н.И. Гусев, Е.А. Кубасов // Новые достижения по приоритетным направлениям науки и техники: сб.ст. Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и исследователей. – Пенза: ЦНТИ, 2010. – С.214–217.

2. Гусев, Н.И. Конструктивные решения по предотвращению образования наледи на крышах [Текст] / Н.И. Гусев, Е.А. Кубасов // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №1. – С.100–108.

References

1. Gusev, N.I. Maintenance of attic roofs in multi-storey buildings in winter [Text] / N.I. Gusev, E.A. Kubasov // Advances in priority areas of science and technology: sb.st. Intern. Scientific and Technical. Conf. of young scientists and researchers. – Penza: CSTI, 2010. – P.214–217.

2. Gusev, N.I. Constructive solutions of eliminating iced roofs [Text] / N.I. Gusev, E.A. Kubasov // The regional architecture and engineering. – 2011. – № 1. – P.100–108.

УДК 692.4.059.28

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Нежданов Кирилл Константинович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: stroyconst@constructor.ru

Артюшин Дмитрий Викторович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: stroyconst@constructor.ru

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Nezhdanov Kirill Konstantinovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Building constructions»
E-mail: stroyconst@constructor.ru

Artyushin Dmitriy Viktorovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building constructions»
E-mail: stroyconst@constructor.ru

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЛАВИНООБРАЗНОГО ОБРУШЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЗДАНИЙ ИЗ РЕБРИСТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

К.К. Нежданов, Д.В. Артюшин

Приводится описание способа предотвращения зарождения прогрессирующего лавинообразного обрушения ребристых железобетонных плит покрытия путем создания жёсткого пространственного диска покрытия здания.

Ключевые слова: лавинообразное обрушение покрытия здания, ребристые железобетонные плиты, новый способ, жёсткий диск покрытия, эффективные овалы трубчатые профили.

HOW TO PREVENT AVALANCHE-LIKE COLLAPSE OF BUILDING COVERINGS MADE OF RIBBED REINFORCED CONCRETE PANELS

K.K. Nezhdanov, D.V. Artyushin

The article gives a description of a new way of prevention avalanche-like collapse of a covering made of ribbed reinforced concrete panels by making hard spatial disk of the building covering.

Keywords: avalanche-like crushing building covering, ribbed reinforced concrete panels, new way, hard disk of covering, efficient oval tubular profiles.

В настоящее время часто применяют покрытия промышленных и гражданских зданий, состоящие из ребристых железобетонных плит, опирающихся на ригели (стальные или железобетонные). Действующие нормативные документы [1] предусматривают сварные соединения стальных закладных деталей рёбер плит с ригелями. В практике проектирования и расчёта принято считать, что такое покрытие является жёстким диском при условии заполнения щелей между рёбрами плит прочным, хорошо уплотнённым мелкозернистым бетоном.

К сожалению, в возведённых в 60...70-е годы прошлого века сооружениях, в швах между плитами, обычно скапливается строительный мусор, а закладные детали плит покрытия зачастую некачественно соединялись с ригелями, либо такие соединения вовсе отсутствовали, что приводило к нарушению целостности диска покрытия. Кроме того, присоединение плит к ригелям посредством сварных швов, соединяющих закладные детали, нетехнологично, сами швы при этом оказываются в зоне, недоступной для контроля после монтажа конструкций покрытия, а имеющиеся дефекты соединений трудно обнаружить при обследовании.

Примером технических просчетов, приведших к нарушению целостности системы покрытия, может служить обрушение конструкций покрытия цеха литейно-арматурного завода в г. Пензе [2] – рис. 1. В прогрессирующее обрушение лавиной вовлеклись два пролёта (24 м и 18 м), а длина обвала составила 96 м. При демонтаже участка покрытия, грозящего обрушиться, было выявлено, что многие из ребристых плит вовсе не соединены с ригелем.



Рис. 1. Общий вид обрушения конструкций покрытия цеха литейно-арматурного завода в г. Пензе

По данным Б.И. Беляева и В.С. Корниенко [3, с. 198], чаще всего происходит обвал системы покрытия (до 44 % случаев обрушений). Как правило, началом лавины обвала системы покрытия здания является падение одной из аварийных плит покрытия. Ввиду некачественного прикрепления плиты к ригелю одна из сторон плиты срывается с ригеля, удерживаясь вторым своим концом на параллельном ригеле. Разгоняясь по радиусу, как маятник, она с силой ударяет по нижней части ригеля, что приводит к срыву с этого ригеля уже нескольких плит покрытия. Зарождается лавина обрушения. Один из решётчатых ригелей не выдерживает. Происходит потеря устойчивости одного из его сжатых стержней, что превращает ригель в механизм, и он обрушается.

Таким образом, существующая система покрытий, состоящих из ребристых железобетонных плит, имеет массу недостатков, и актуальность её усовершенствования весьма высокая.

При разработке новой системы покрытия за аналог было принято ранее разработанное техническое решение [2] с применением новых эффективных овальных в сечении профилей [4, 5].

Относительная высота овальных в сечении профилей $h/b = 3$. При таком отношении и толщине овала $t_o = 0,5t_{ст}$ (где $t_{ст}$ – толщина стандартного прокатного двутаврового профиля) момент сопротивления овала W_{xo} оказывается большим по отношению к моменту сопротивления стандартного двутавра на 16...20 %. Моменты же

инерции овальных профилей при изгибе J_{xo} также больше по отношению к моментам инерции двутавров J_x , а моменты инерции на кручение $J_{xo\text{кр}}$ – в сотни раз больше.

В результате этих неоспоримых преимуществ очевидно, что продольные рёбра железобетонных плит целесообразно выполнять из овальных в сечении профилей.

Техническая задача предлагаемого способа заключается в *предотвращении зарождения* прогрессирующего, нарастающего лавиной *обвала*, развивающегося в системе покрытия сооружения, выполненного с использованием ребристых железобетонных плит, а также в повышении надёжности системы покрытия сооружения и, следовательно, в снижении его стоимости с учётом срока эксплуатации.

Для предотвращения зарождения прогрессирующей лавины обвала покрытия плиты покрытия должны быть выполнены двух- или трёхпролётными с продольными трубчатыми рёбрами из овального профиля (трёхпролётные экономичней двухпролётных, но более громоздки). Плиты покрытия предлагается укладывать на ригели в шахматном порядке, смещая их в продольном направлении друг относительно друга на 1/2 или 1/3 длины с взаимной перевязкой швов (узел соединения плит покрытия с ригелем представлен на рис. 2).

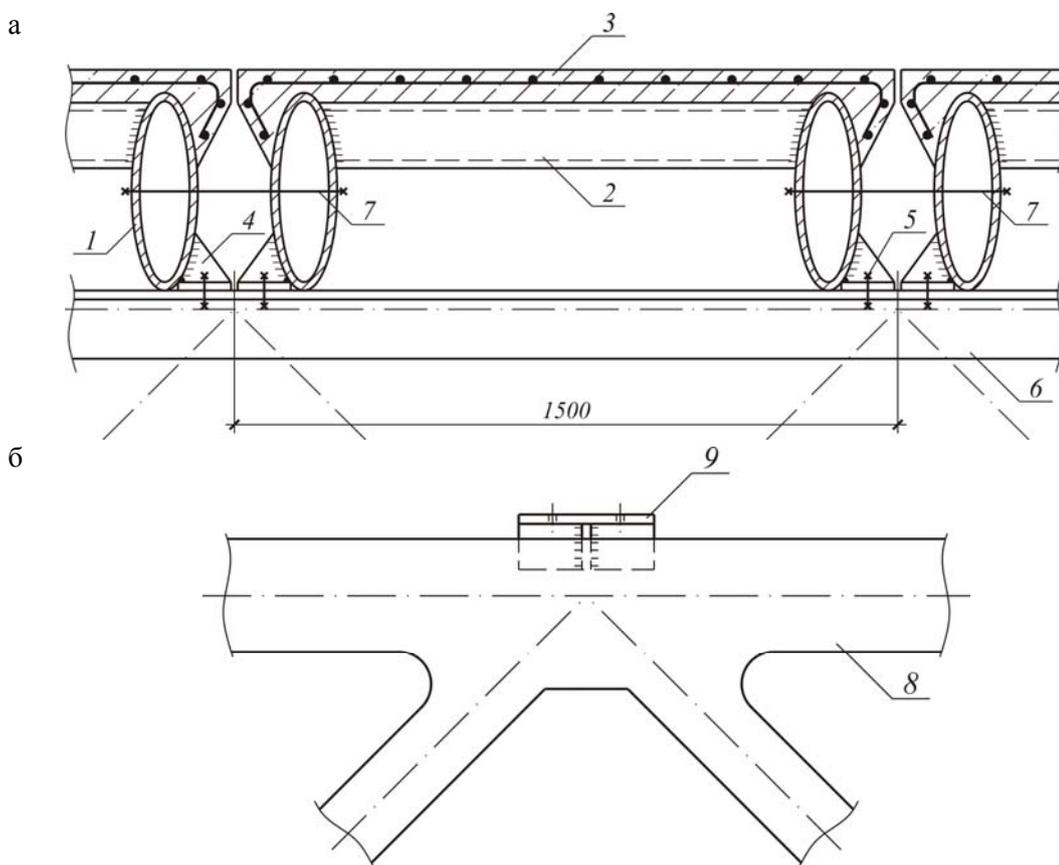


Рис. 2. Узел соединения плит покрытия с ригелем:

а – стальным; б – железобетонным;

- 1 – продольное ребро плиты покрытия (овал с соотношением $h/b=3/1$); 2 – поперечное ребро плиты покрытия (овал); 3 – железобетонная плита покрытия; 4 – опора (тавр); 5 – болты крепления плиты покрытия к ригелю; 6 – верхний пояс стального ригеля; 7 – шпильки, объединяющие смежные плиты в единый жесткий диск; 8 – железобетонный ригель; 9 – закладная деталь (тавр) в железобетонном ригеле

Продольные рёбра плиты 1 выполняют трубчатыми из овальных профилей с относительной высотой сечения $h/b = 3$. Поперечные рёбра 2 изготавливают также из аналогичных овальных трубчатых профилей. Верхняя поверхность плиты 3 выполняется железобетонной, армированной стальной сеткой. Плита бетонируется на ровной площадке в перевернутом виде, при этом опалубочной формы не требуется. Овальные продольные рёбра 1 над средней опорой усиливаются опорными пластинами 4 из листов, в которых предусмотрены отверстия для анкерных болтов 5. Анкерные болты затягиваются гайковёртами и неподвижно соединяют плиты покрытия с ригелями 6 или 8 в единое целое. Овальные продольные рёбра смежных плит соединяют друг с другом проходящими сквозь них легированными шпильками 7 из стали «40 X Селект» [6, с. 40]. Указанные шпильки предварительно напрягают рёбра при условии гарантированной затяжки гаек гайковёртом. В итоге образуется жёсткий диск покрытия, объединяющий плоские рамы каркаса здания в единое целое, и тем самым исключается возможность возникновения прогрессирующей лавины обрушения покрытия.

Для сравнения приведём данные для разработанной двухпролётной плиты площадью 18 м^2 и прототипа (серийная железобетонная плита $\frac{\text{ПА} - \text{V}}{1,5 \cdot 6}$) при

одинаковой величине расчетной нагрузки в 640 кг/м^2 :

1. Исключается возможность возникновения лавины прогрессирующего обвала покрытия.
2. Снижается материалоемкость и масса покрытия. Уменьшение массы двухпролётной плиты составило:
 - всего – 1448,1 кг;
 - то же, на 1 м^2 – $80,45 \text{ кг/м}^2$.
3. Повышается надёжность всего сооружения.
4. Уменьшается трудоёмкость монтажа конструкций.

Список литературы

1. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования [Текст]: СНиП 2.03.01-84* / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2000.
2. Нежданов, К.К. О снижении опасности лавинообразных обрушений покрытия промышленного здания в аварийной ситуации [Текст] / К.К. Нежданов, Н.Я. Кузин // Промышленное строительство. – 1991, №7. – С. 27–29.
3. Беляев, Б.И. Причины аварий зданий и сооружений и способы их устранения [Текст] / Б.И. Беляев, В.С. Корниенко. – М.: Стройиздат, 1968. – 208 с.
4. Пат. 2192381 Российская Федерация, В 66 С 6/00, 7/08. Рельсобалочная конструкция [Текст] / Нежданов К.К., Нежданов А.К., Туманов В.А., Карев М.А. – зарег. 10.11.02, Бюл. №31.
5. Пат. 2304479 Российская Федерация. Способ повышения несущей способности цилиндрической трубы на изгиб [Текст] / Нежданов К.К., Туманов В.А., Рубликов С.Г., Нежданов А.К. – опубл. 20.08.07, Бюл. №23.
6. Стальные конструкции. Нормы проектирования [Текст]: СНиП II-23-81* / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.

References

1. Concrete and reinforced concrete constructions. Rates of the designing [Text]: Building Rates and Rules 2.03.01-84* / Gosstroy to Russia. – M.: GUP CPP, 2000.
2. Nezhdanov K.K. About reduction of the dangers progressive avalanche crushing the covering the industrial building in emergency [Text] / K.K. Nezhdanov, N.Y. Kuzin // Industrial construction. – 1991, №7. – P. 27–29.
3. Belyaev B.I. Reasons damages of the buildings and ways of their removal [Text]: B.I. Belyaev, V.S. Kornienko. – M.: Stroyizdat, 1968. – 208 p.
4. Pat. 2192381 Russian Federation, B 66 C 6/00, 7/08. Railbeems construction [Text] / Nezhdanov K.K., Nezhdanov A.K., Tumanov V.A., Karev M.A. – regist. 10.11.02, Bull. №31.
5. Pat. 2304479 Russian Federation. Way of increasing carrying abilities of the cylindrical pipe on bend [Text] / Nezhdanov K.K., Tumanov V.A., Rublikov S.G., Nezhdanov A.K. – publish. 20.08.07, Bull. №23.
6. Steel constructions. Rates of the designing [Text]: Building Rates and Rules II-23-81* / Gosstroy to Russia.– M.: CИTP Gosstroy to USSR, 1990. – 96 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Недоговоров Александр Дмитриевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Землеустройство и геодезия»
Тел.: 8-841-249-64-00

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Nedogovorov Alexandr Dmitrievich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Organization of land use
and geodesy»
Tel.: 8-841-249-64-00

РАСЧЕТ СТЫКА КЛЕЕВОГО БЕТОННОГО СОПРЯЖЕНИЯ ПРИ СДВИГЕ С УЧЁТОМ УСАДОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

А.Д. Недоговоров

Излагается метод расчета стыка клеевого бетонного сопряжения при сдвиге с учетом усадочных напряжений. В местах концентрации напряжений в бетонные блоки рекомендуется устанавливать закладные металлические сетки.

Ключевые слова: стык, клей, бетон, усадочное напряжение.

CALCULATION OF GLUED CONCRETE CONNECTION AT SHEAR STRESSES TAKING INTO ACCOUNT SHRINKAGE STRESS

A.D. Nedogovorov

The article presents calculation methods of glue concrete connection joint at shear taking into account shrinkage stress. In place of stress concentration it is recommended to install metallic network into concrete blocks.

Keywords: joint, adhesive, concrete, shrink, stretch.

В практике строительства из сборного железобетона все большее применение находят клеевые сопряжения. Эти сопряжения работают, как правило, на сжатие или на сдвиг.

Напряженное состояние клеевого шва или бетона вблизи шва при сдвиге будет определяться касательными напряжениями от действия внешней нагрузки τ и усадочными напряжениями $\sigma(t)_{yc}$.

Максимальные касательные напряжения от внешней нагрузки будут действовать в плоскости и вдоль клеевого шва. Усадочные же растягивающие нормальные напряжения, вызванные неизбежной неравномерностью толщины клеевого шва, будут действовать во всех направлениях.

Усадочные напряжения по площадкам, на которых отсутствуют касательные напряжения от нагрузки, будут главными.

По площадкам, параллельным $\sigma(t)_{yc}$, нормальные напряжения будут растягивающими и равны $\sigma(t)_{yc}$, касательные напряжения будут меняться от $-\tau_{max}$ до $+\tau_{max}$.

Нормальные напряжения будут меняться от $\sigma_1 = \sigma(t)_{yc} + \tau_{max}$ до $\sigma_3 = \sigma(t)_{yc} - \tau_{max}$, касательные – от $-\tau_{max}$ до $+\tau_{max}$.

Распределение касательных напряжений по длине клеевого сопряжения длинных швов от внешней нагрузки может быть определено по методике, предложенной Работовым Ю.Н., с учетом разных модулей упругости на растяжение и на сжатие клея [1, 2].

Наиболее часто клеевые бетонные конструкции работают на сдвиг от равномерно распределённой нагрузки.

Касательные напряжения в любом сечении x в этом случае будут определены по формуле

$$\tau = \frac{G_{\text{кл}} g c h k x}{h_{\text{ш}} E_{\sigma} k S h k l_{\text{ш}}}, \quad (1)$$

где E_{σ} – модуль упругости бетона; $h_{\text{ш}}$ – толщина шва;

$$K = \sqrt{\frac{G_{\text{кл}}}{E_{\sigma} H h_{\text{ш}}}};$$

g – нагрузка внешняя на единицу площади.

Формула (1) служит для определения касательных напряжений в любом сечении клеевого шва.

Входящий в формулу (1) модуль сдвига клея $G_{\text{кл}}$ рекомендуется определять с учетом разницы модулей упругости при растяжении и при сжатии для клеев по формуле

$$G_{\text{кл}} = \frac{1}{2 \left(\frac{1}{E_{\text{кл}}^{\text{р}}} + \frac{\mu_{\text{кл}}^{\text{сж}}}{E_{\text{кл}}^{\text{сж}}} \right)}, \quad (2)$$

где $E_{\text{кл}}^{\text{р}}$ – модуль упругости клея на растяжение; $E_{\text{кл}}^{\text{сж}}$ – модуль упругости клея на сжатие; $\mu_{\text{кл}}^{\text{сж}}$ – коэффициент Пуассона клея.

Полученные теоретические разработки были использованы для определения касательных напряжений в клеевом сопряжении бетонных блоков М-200 и клеевом сопряжении ячеисто-бетонных блоков марки 25.

Для склеивания использовали латексцементный клей следующего состава, в весовых частях: латекс СКС – 65ГП-I, портландцемент – 5, песок – 15, вода – 1,75.

Механические характеристики для клея:

$$E_{\text{кл}}^{\text{р}} = 58 \cdot 10^2 \text{ МПа}, \quad E_{\text{кл}}^{\text{сж}} = 84 \cdot 10^2 \text{ МПа}, \quad \mu_{\text{кл}}^{\text{сж}} = 0,184$$

$$\text{Для тяжелого бетона} \quad E_{\sigma} = 250 \cdot 10^2 \text{ МПа}$$

$$\text{Для ячеистого бетона} \quad E_{\text{д.б}} = 25 \cdot 10^2 \text{ МПа}$$

Геометрические размеры элементов сопряжения взяты из размеров клеевых ячеисто-бетонных панелей.

На рис. 1 показаны эпюры распределения касательных напряжений в бетонных и ячеисто-бетонных сопряжениях.

Из рис. 1 видно, что у концов клеевого шва имеет место значительная концентрация касательных напряжений, а следовательно, и нормальных растягивающих напряжений. К тому же необходимо добавить, что у концов длинного клеевого шва будут действовать (хотя и незначительные) изгибные растягивающие напряжения, которыми можно пренебречь.

Так как прочность клеев на растяжение обычно значительно больше прочности бетонов на растяжение, то появление трещин в бетоне около шва у концов клеевых швов наиболее вероятно.

На фотографиях разрушенных образцов (рис. 2) видны характерные разрушения клеевых ячеистобетонных сопряжений на латексцементном клее при работе сопряжения на сдвиг. Разрушения действительно начинаются в бетоне около концов шва, затем, с уменьшением величины касательных напряжений к середине шва, трещина от клеевого шва удаляется в массу бетона.

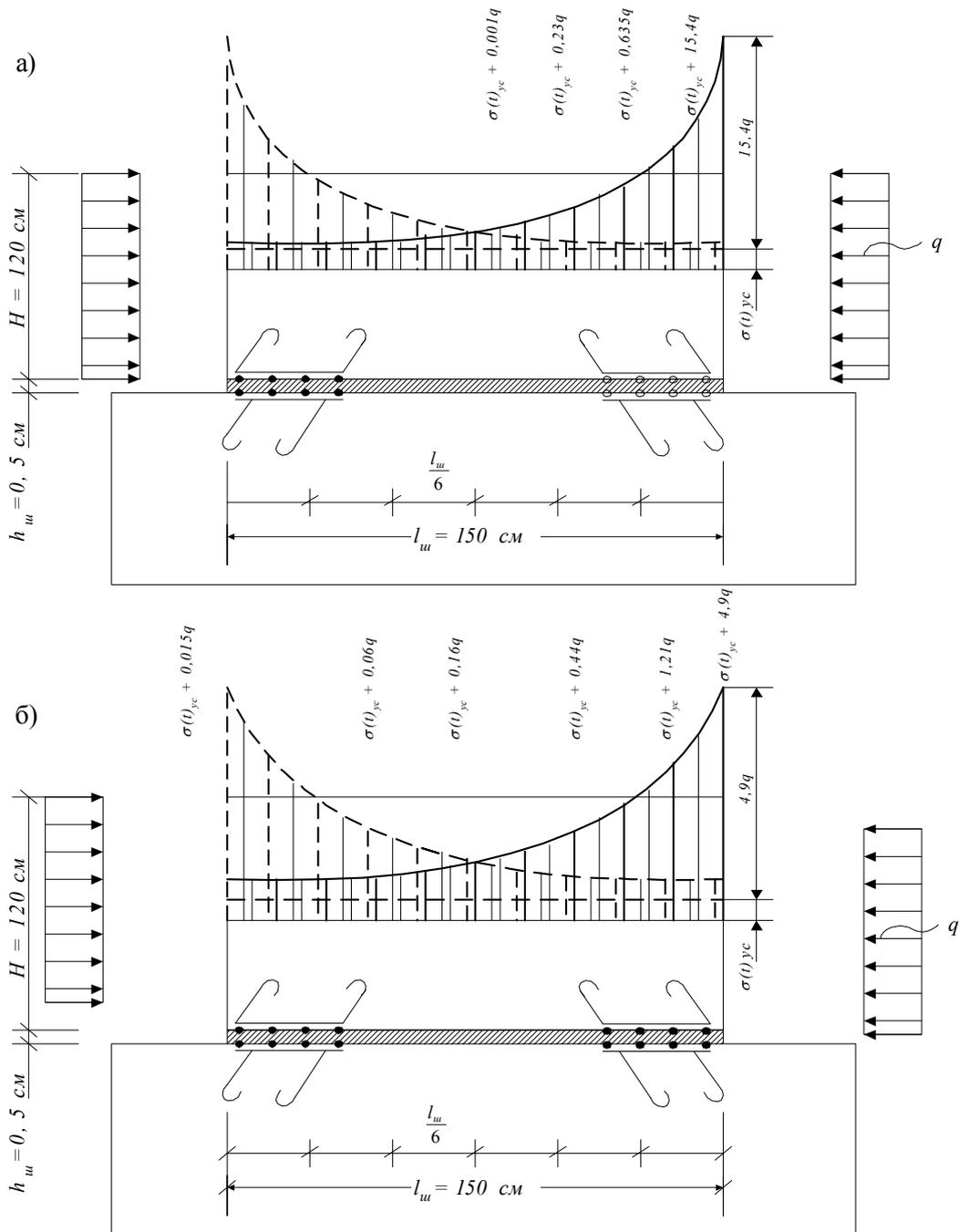


Рис. 1. Эпюры распределения главных растягивающих напряжений по длине клеевого шва в латексцементном клеевом сопряжении:
 а – сопряжения из ячеисто-бетонных блоков М-25; б – сопряжения из бетонных блоков М-200



Рис. 2. Характерное разрушение клеевого бетонного сопряжения при сдвиге

Таким образом, для снижения концентрации напряжений у концов шва рекомендуется применять клеи с пониженным модулем упругости. Чем ниже модуль упругости клея по сравнению с модулем упругости бетона, тем равномернее распределены касательные напряжения по длине клеевого шва. В местах действия наибольших касательных напряжений (у концов клеевого шва) рекомендуется применять в бетонных элементах закладные металлические мелкие сетки. Закладная металлическая сетка должна устанавливаться без устройства защитного слоя. Она должна препятствовать разрушению бетона в местах концентрации растягивающих напряжений.

Теоретическую длину металлической сетки у концов клеевого шва по направлению действия нагрузки определяют из условия равенства предела прочности на растяжение бетона R_p^{δ} и наибольших растягивающих напряжений от сдвига и усадки клеевой прослойки (рис. 3).

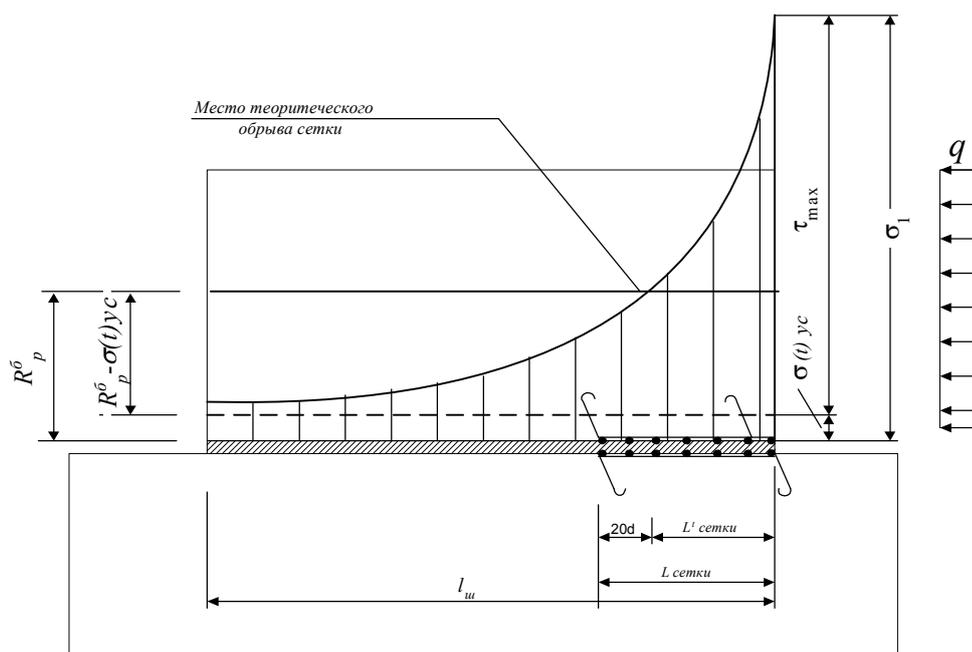


Рис. 3. Эпюры главных растягивающих напряжений и графическое определение места теоретического обрыва сетки

Теоретическая длина сетки

$$L_c^t = l_{ш} \left(1 - \frac{1}{Kl_{ш}} \ln \frac{2K \left[R_p^{\delta} - \sigma(t)_{yc} \right] h_{ш} E_{\delta} Shkl_{ш}}{G_{кл} g} \right), \quad (3)$$

где $l_{ш}$ – длина клеевого шва;

$$K = \sqrt{\frac{G_{кл}}{E_{\delta} H h_{ш}}};$$

$G_{кл}$ – модуль сдвига клея; E_{δ} – модуль деформации бетона; g – равномерно распределенная нагрузка на единицу длины; $h_{ш}$ – толщина клеевой прослойки; $\sigma(t)_{yc}$ – усадочные напряжения, методика определения которых изложена в работе [3].

Конструктивную длину сетки по сравнению с расчетной рекомендуется принимать длиннее на 20 диаметров проволоки:

$$L_c = L_c^t + 20d,$$

где d – диаметр проволоки сетки.

Часть стержней сетки для анкеровки в бетоне должна быть отогнута на угол 45° по направлению действия главных растягивающих напряжений. Площадь поперечных сечений отогнутых стержней вычисляется по формуле

$$F_{от} = \frac{(G_1 - R_p^6) b L_c^T}{0,707 m R}, \quad (4)$$

где σ_1 – главное напряжение растягивающее; R_p^6 – предел прочности бетона на растяжение; b – толщина блока; R – предел прочности металла сетки; m – коэффициент условий работ, который рекомендуется определять, как и для поперечной арматуры в железобетонных конструкциях.

Список литературы

1. Роботнов, Ю.Н. Сопротивление материалов [Текст]: монограф. / Ю.Н. Роботнов. – М.: Физматгиз, 1962. – 455 с.
2. Недоговоров, А.Д. Напряженное состояние клеевого бетонного сопряжения при сдвиге [Текст] / А.Д. Недоговоров // Строительная механика и расчет сооружений. – 1984. – №5. – С.59-62.
3. Недоговоров, А.Д. Методика определения усадочных напряжений при омоноличивании конструкции [Текст] / А.Д. Недоговоров // Известия ТулГУ. Сер. Строительные материалы, конструкции и сооружения. Вып.7. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2004. – С.65-70.

References

1. Robotnov, J.N. Strength of materials [Text]: monog. / J.N. Robotnov – M.: Physmatgis, 1962. – 455 p.
2. Nedogovorov, A.D. Stress state adhesive concrete inderface by the displacement [Text] / A.D. Nedogovorov // Building mechanics and calculation of the costructions. – 1984. – №5. – P.59–62.
3. Nedogovorov, A.D. Methods of shrinkage strain definition by moking monolithig building structurele [Text] / A.D. Nedogovorov // Next Tulgy. Series. Building materials, costructions and structures. Issue 7. – Tula: Publishing hous TulGY, 2004. – P.65–70.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 697.383

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Еремкин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
советник при ректоре, зав. кафедрой
«Теплогоснабжение и вентиляция»
Тел.: +7 (412) 92-90-81;
факс: 8 (412) 92-90-81
E-mail: eremkin@pquas.ru

Тулский государственный университет
Россия, 300000, г.Тула, пр.Ленина, д.92,
тел. (4872) 33-40-15

Вялкова Наталия Сергеевна,
доцент кафедры
«Санитарно-технические системы»
Тел.: (4872) 33-40-15
E-mail: nsvtu@mail.ru

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Eremkin Alexander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Adviser at a rector, Head of the department
«Heating, Gas Supply and Ventilation»
Tel.: +7 (412) 92-90-81;
fax: 8 (412) 92-90-81.
E-mail: eremkin@pquas.ru

Tula State University
Russia, 300000, Tula, 92, Lenin's avenue
tel.: (4872) 33-40-15

Vjalkova Natalia Sergeevna,
The senior lecturer of chair
«Sanitary-engineering systems»
Tel.: (4872) 33-40-15
E-mail: nsvtu@mail.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВОДЯНОГО И ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

А.И. Ерёмкин, Н.С. Вялкова

Рассматривается вопрос снижения энергопотребления на обеспечение внутренних температурных условий, создание необходимого микроклимата в помещениях.

Ключевые слова: автоматизированная комбинированная система отопления, параметры микроклимата, периодический режим работы.

THE AUTOMATED COMBINED SYSTEM OF WATER AND AIR HEATING OF THE PUBLIC BUILDING

A.I. Eremkin, N.S. Vjalkova

Reduction of power consumption by maintenance of internal temperature conditions, creation of a necessary microclimate in premises is considered.

Keywords: the automated combined system of heating, microclimate parameters, a periodic operating mode.

Современное общественное здание должно быть, прежде всего, комфортным для человека, экологически чистым, соответствовать функциональному назначению, в нем необходимо обеспечить эффективное использование энергии. Применение автоматизированной комбинированной системы водяного и воздушного отопления, преду-

смотрящей режим нагота, рабочий режим, режим пропуска, режим сниженной подачи тепла, позволит создать необходимый микроклимат в помещениях общественных зданий с периодическим режимом работы.

Основная цель при проектировании энергоэкономичных систем регулирования внутреннего микроклимата для общественных зданий заключается в том, чтобы обеспечить визуальный и тепловой комфорт людей при минимальном количестве потребляемой энергии.

Работа систем формирования внутреннего микроклимата в зданиях оказывает также большое влияние на использование энергии. Значительный эффект на уменьшение потребления ее в здании могут оказать такие альтернативные меры, как периодическое отопление в течение суток и сезонное регулирование пределов комфортных условий. Экономия теплоты при периодических перерывах в отоплении также связывается и с режимом работы системы.

Возникает задача правильного выбора режимов работы системы отопления в условиях режима эксплуатации общественного здания с помещениями различного назначения.

Применение комбинированной системы водяного и воздушного отопления может решить поставленную задачу. На рис.1 изображена схема автоматизированной системы водяного и воздушного отопления многоэтажного общественного здания с коридорной планировкой, работающая следующим образом.

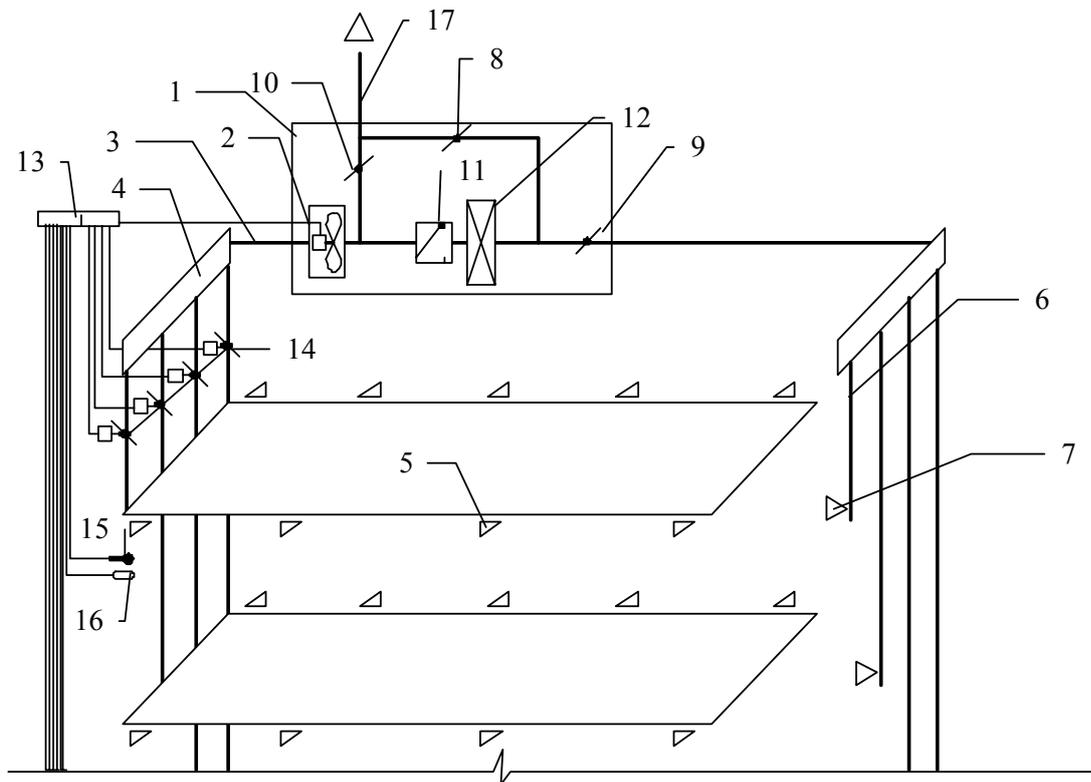


Рис.1. Схема системы на основе водяного и воздушного отопления многоэтажного общественного здания с коридорной планировкой:

- 1 – вентиляционная камера; 2 – вентилятор; 3 – магистральный воздуховод приточного воздуха; 4 – распределительный канал для подачи входного потока воздуха в разные промежуточные уровни здания; 5 – воздухораспределители, установленные в обслуживаемых помещениях;
- 6 – рециркуляционные каналы; 7 – рециркуляционные решетки; 8, 9, 10 – шиберы; 11 – обратный клапан; 12 – калорифер; 13 – блок управления; 14 – регулирующие клапаны; 15, 16 – датчики температуры и содержания углекислого газа; 17- вентиляционная шахта

В теплый период года воздух удаляется из обслуживаемых помещений через воздухораспределители 5, через систему каналов 4, 3 и шахту 17 под действием естественного давления. По мере увеличения температуры наружного воздуха естественная тяга уменьшается, что приводит к снижению воздухообмена в помещениях. При неудовлетворительном естественном воздухообмене по сигналам датчиков содержания углекислого газа 16 включается вентилятор 2. В этом режиме шибер 10 открыт, шибера 8, 9 закрыты.

В холодный период года система на основе водяного и воздушного отопления может использоваться в качестве догревающей части комбинированной водовоздушной системы периодического отопления. В этом случае система должна функционировать в двух режимах: в режиме натопа и в рабочем режиме, с полным отключением в рабочий период.

В режиме натопа система на основе водяного и воздушного отопления работает как полностью рециркуляционная. Воздух забирается из коридоров через решетки 7, по рециркуляционным каналам 6 попадает в калорифер 12, откуда через обратный клапан 11 по магистральному воздуховоду приточного воздуха 3 подается в разные промежуточные уровни 4. В этом режиме шибер 9 открыт, шибера 8, 10, установленные в вентиляционном устройстве 1, закрыты.

В рабочий период времени система на основе водяного и воздушного отопления работает как приточная, с возможным использованием в качестве системы воздушного отопления в случае выхода из строя водяной системы.

Наружный воздух забирается через шахту 17 и, нагревшись в калорифере 12, поступает в обслуживаемые помещения через воздухораспределители 5. В этом режиме шибер 8 открыт, шибера 9, 10 закрыты. Вентилятор 2 работает в циклическом режиме, включаясь с помощью блока управления 13 по сигналам датчиков температуры 15 и содержания углекислого газа 16. Распределение приточного воздуха по разным этажам производится регулирующими клапанами с электроприводом 14.

Если по санитарно-гигиеническим требованиям допускается рециркуляция воздуха, система на основе водяного и воздушного отопления может работать как приточно-рециркуляционная.

В результате расчетов режимов работы автоматизированной комбинированной системы водяного и воздушного отопления, проведенных в недельном разрезе при различной температуре (через 5 °С) наружного воздуха в течение отопительного сезона (режим работы учреждения принят 6 дней в неделю с 8 до 18 часов) выявлена корреляционная зависимость продолжительности натопов перед каждым рабочим днем недели от разности температур внутреннего воздуха в конце натопа и наружного воздуха. Эта зависимость имеет линейный характер и описывается уравнениями:

$$\begin{aligned}
 Z_{nat}^1 &= -5,179 + 0,271 \cdot \Delta t; & Z_{nat}^1 &= -5,179 + 0,271 \cdot \Delta t; \\
 Z_{nat}^2 &= -2,808 + 0,140 \cdot \Delta t; & Z_{nat}^2 &= -2,808 + 0,140 \cdot \Delta t; \\
 Z_{nat}^3 &= -2,309 + 0,113 \cdot \Delta t; & Z_{nat}^3 &= -2,309 + 0,113 \cdot \Delta t; \\
 Z_{nat}^4 &= -1,818 + 0,093 \cdot \Delta t; & Z_{nat}^4 &= -1,818 + 0,093 \cdot \Delta t; \\
 Z_{nat}^5 &= -1,889 + 0,092 \cdot \Delta t; & Z_{nat}^5 &= -1,889 + 0,092 \cdot \Delta t; \\
 Z_{nat}^1 &= -1,698 + 0,084 \cdot \Delta t; & Z_{nat}^1 &= -1,698 + 0,084 \cdot \Delta t;
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Как видно из рис. 2, длительность натопов первых двух дней недель значительно отличается от соответствующих значений для последующих дней, что объясняется медленным прогревом массива наружных и внутренних ограждений после длительного перерыва отопления в выходной день.

Зависимости вида (1) были использованы в качестве управляющего закона в системе автоматического регулирования комбинированной системы на основе водяного и воздушного отопления.

Экспериментальные исследования автоматизированной комбинированной системы водяного и воздушного отопления показали, что температура внутреннего воздуха в течение недели в рабочие дни не опускается ниже $+16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в нерабочие дни $+12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, что позволяет исключить конденсацию влаги на внутренних поверхностях.

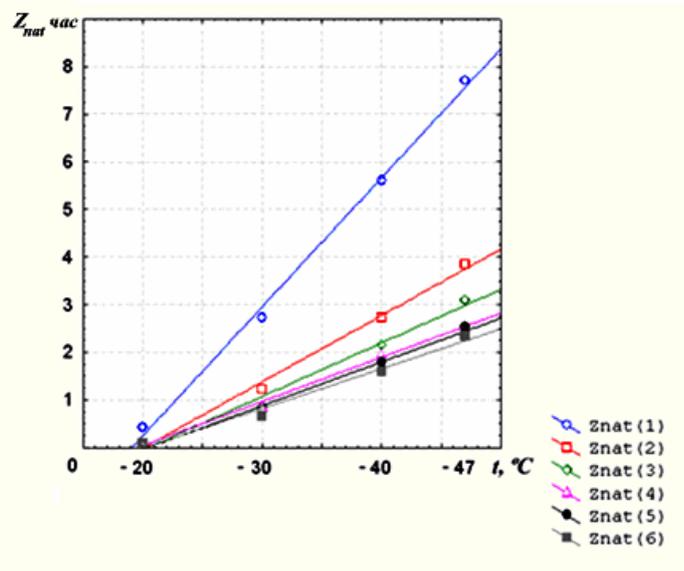


Рис.2. Зависимость требуемой продолжительности натопов от температуры наружного воздуха

При изменении температуры наружного воздуха на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ колебания температуры внутреннего воздуха не превысили $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис.3), концентрация углекислого газа не превышала $0,68\text{ л/м}^3$. Установлено, что фактор концентрации углекислого газа не является критическим для регулирования автоматизированной комбинированной системы на основе водяного и воздушного отопления.

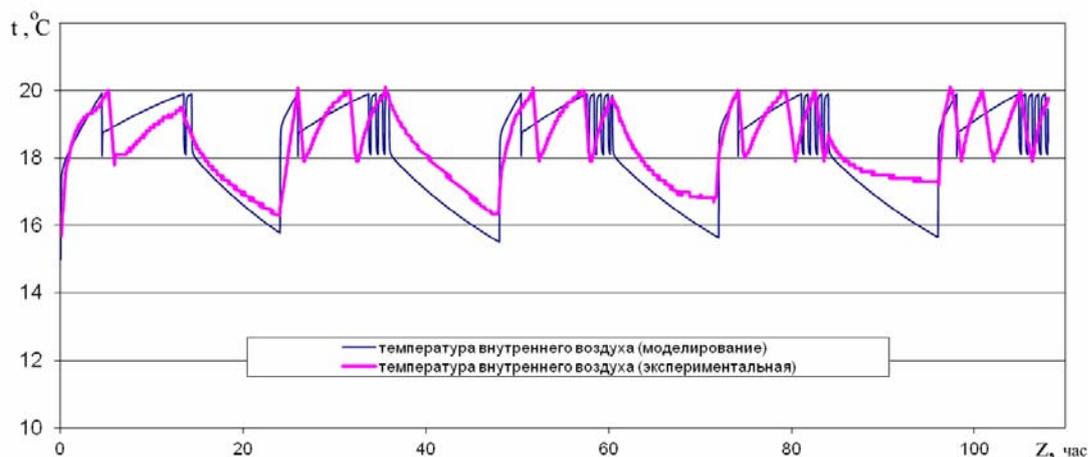


Рис.3. Изменение температуры внутреннего воздуха в недельном цикле работы комбинированной системы водяного и воздушного отопления

В ходе работы получены результаты:

1. Выявлена корреляционная зависимость продолжительности натопов перед каждым рабочим днем недели от температуры наружного воздуха.
2. Работу комбинированной системы на основе водяного и воздушного отопления необходимо автоматизировать с программным управлением для выдерживания расчетного режима.
3. Автоматизированная комбинированная система водяного и воздушного отопления внедрена в ГОУ ВПО «Тулский государственный университет». Разработанное техническое решение позволило создать необходимый микроклимат и улучшить распределение воздуха по помещениям цокольного этажа главного корпуса ТулГУ.

Список литературы

1. Системы вентиляции и кондиционирования [Текст]: учеб. пособие / В.А. Ана-
ньев, Л.Н. Балуева, А.Д. Гальперин [и др.]. – М.: Евроклимат, Изд-во «Арина», 2000. –
416 с.
2. Невский, В.В. Тепло-холодоснабжение отопительно-вентиляционных установок
[Текст] / В.В.Невский. – М.: ООО «Данфосс», 2009.
3. Пырков, В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения.
[Текст] / В.В. Пырков // Теория и практика. – Киев: Такі справи, 2005.
4. Система вентиляции и отопления / Э.М. Соколов, В.М. Степанов, Н.С. Вялкова,
С.А. Солодков // Пат. 36042 Рос. Федерация. №2003124889; заявл.19.08.03; опубл.
20.02.04. Бюл. №5. – 3 с.

References

1. System of ventilation and air-conditionings [Text]: the Manual / V.A. Ananay,
L.N. Balueva, A.D. Galperin [etc.]. – M: «Euroclimate», from-in «Arina», 2000. – 416 p.
2. Nevsky, V.V. Teplo-holodosnabzhenie otopitelno-ventilating a mustache-tanovok
[Text] / V.V.Nevsky. – M.: Open Company «Danfoss», 2009.
3. Pyrkov, V.V. Century of Century Hydraulic regulation of systems of heating and ohla-
zhdeniya. [Text] / V.V. Pyrkov // Theory and practice. – Kiev: Такі справи, 2005.
4. Ventilation and heating system: a stalemate. 36042 dew. Federation. №2003124889;
заявл.19.08.03; опубл. 20.02.04. Бюл. №5 – 3 p.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Прохоров Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

E-mail: kozhunov@yandex.ru

Свинухов Борис Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

E-mail: tgv@pguas.ru

Аржаева Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

E-mail: tgv@pguas.ru

Кожунов Антон Алексеевич, аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

E-mail: kozhunov@yandex.ru

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Prohorov Sergey Grigorievich, Candidate of Sciences, Professor of the department «Heating, Gas supply and Ventilation»

E-mail: kozhunov@yandex.ru

Svinuhov Boris Ivanovich, Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Heating, Gas supply and Ventilation»

E-mail: tgv@pguas.ru

Arzhaeva Natalia Vladimirovna, Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Heating, Gas supply and Ventilation»

E-mail: tgv@pguas.ru

Kozhunov Anton Alekseevich, post-graduate of the department «Heating, Gas supply and Ventilation»

E-mail: kozhunov@yandex.ru

ПЕРЕВОД ПАРОВЫХ КОТЛОВ НА ВОДОГРЕЙНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ*

С.Г. Прохоров, Б.И. Свинухов, Н.В. Аржаева, А.А. Кожунов

Проанализированы известные решения по переводу паровых котлов на водогрейный режим работы. Предложены и внедрены авторские варианты реконструкции котлов ДКВР-6,5-13 и ДЕ-6,5-14ГМ.

Ключевые слова: котлы паровые, реконструкция, водогрейный режим.

STEAM BOILERS TRANSFER ON THE WATER-HEATING OPERATING MODE

S.G. Prohorov, B.I. Svinuhov, N.V. Arzhaeva, A.A. Kozhunov

The known decisions of steam boilers transfer on a water-heating operating mode are analysed. The authors variants of boilers DKVR-6,5-13 and DE-6,5-14ГМ reconstruction are offered and introduced.

Keywords: boilers steam, reconstruction, water-heating mode.

Существующие отопительно-производственные котельные, как правило, выполнены по типовым проектам на базе котлов ДКВР, КЕ, ДЕ. Тепловые схемы таких котельных предусматривают покрытие тепловой нагрузки на технологические нужды за счет пара, а нагрузки на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения – путем подогрева сетевой воды в пароводяных теплообменниках.

За последние годы, в силу ряда причин, паровая нагрузка на технологические нужды резко сократилась или полностью исчезла. В связи с этим становится целесообразным часть или все котлы переводить на водогрейный режим работы, что позволит

* Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» (госконтракт № 16.740.11.0069).

сократить расход топлива, упростить тепловую схему котельной и ее эксплуатацию, повысить безопасность.

Анализ известных конструктивных решений по переводу котлов ДКВР на водогрейный режим [1–4] показал, что их основное различие в схемах движения воды. К общим недостаткам следует отнести низкую скорость движения воды в трубках поверхностей нагрева, что приводит к появлению местных очагов вскипания, отложению накипи, пережогу трубок, и значительные конструктивные переделки.

На кафедре теплогазоснабжения и вентиляции Пензенского государственного университета архитектуры и строительства разработан и внедрен проект перевода котлов ДКВР-6,5-13 на одной из объектов котельных г. Пензы (2 котла) и на муниципальной котельной п. Чемодановки Пензенской области (1 котел). Проектом предусмотрены повышение скорости движения воды в наиболее теплонапряженных трубках поверхностей нагрева и упрощение реконструкции котла.

Схема движения воды показана на рис. 1. Верхний барабан котла разделен перегородками на четыре отсека, а нижний – на три. Вода подается в нижний барабан котла (задний отсек), откуда по десяти рядам конвективной части (220 трубок) поднимается в задний отсек верхнего барабана. Следующий ход воды – вниз по двум рядам (44 трубки) в нижний барабан. Затем вода направляется опять вверх по восьми рядам конвективного пучка (176 трубок). Четвертый ход воды – вниз по двум рядам трубок и пятый – вверх по двум рядам. Так как эти трубки работают при повышенном тепловом напряжении, скорость течения в них более 1 м/с.

Следующий ход воды из верхнего барабана в нижние коллекторы боковых экранов происходит по 28 трубкам, скорость течения в которых превышает 1,5 м/с. Седьмой ход направлен вверх по 44 трубкам боковых экранов, скорость течения в них превышает 1 м/с.

Работы по реконструкции котла выполнялись в следующем порядке. Сначала были установлены перегородки в барабанах котла. Коллекторы экранов отключались от нижнего барабана. Патрубок для подвода сетевой воды Ø 219 мм был установлен на нижнем барабане котла, а для отвода воды – на верхнем барабане согласно чертежам. Также выполнялся ряд незначительных переделок. Тягодутьевое оборудование осталось прежним, т. к. никаких изменений по газовому тракту не предусматривалось.

Существенной реконструкции подвергся экономайзер, который был включен в водяной контур системы теплоснабжения. Для увеличения пропускной способности он был разделен по высоте на два блока, включаемых по воде параллельно. Кроме того, был предусмотрен полный либо частичный пропуск воды по байпасной линии. Расчеты показали, что при расходе воды через котел более 300 м³/ч гидравлические потери составили около 3 м вод. ст. При этом увеличились коэффициент теплопередачи, температурный напор (реализуется многократный перекрестный ток теплоносителей) и, следовательно, теплопроизводительность котла, которая повысилась почти до 7 Гкал/ч. Затраты, связанные с реконструкцией одного котла, окупались за период менее 6 месяцев.

Довольно длительный опыт эксплуатации показал, что котел работает бесшумно, устойчиво и маневренно по режимам. Температура уходящих газов за котлоагрегатом на обследованных режимах не превышала 100 – 105 °С, чему способствовала работа чугунного экономайзера.

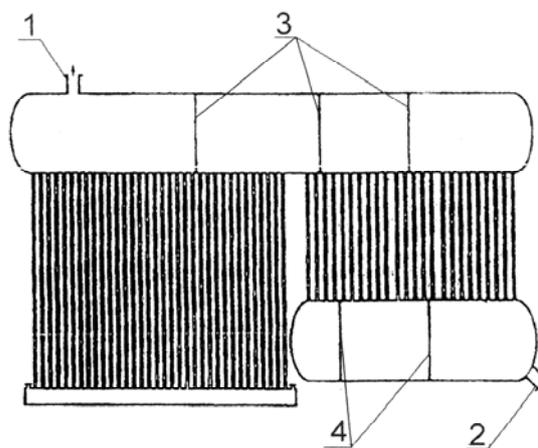


Рис. 1. Схема реконструкции котла ДКВР-6,5-13:
1 – патрубок для отвода воды; 2 – патрубок для подвода воды; 3 – перегородки в верхнем барабане котла; 4 – перегородки в нижнем барабане котла

Положительные отзывы работников котельных с реконструированными котлами ДКВР-6,5-13 (3 котла) подтвердили правильность принятых решений.

Особенностью котлов ДЕ является несимметричная компоновка поверхностей нагрева. Это вызывает объективную невозможность организации движения воды путем установки поперечных перегородок в верхнем и нижнем барабанах по аналогии с котлами ДКВР.

Нами предложено и реализовано в муниципальной котельной п. Чемодановки Пензенской области конструктивное решение по переводу котла ДЕ-6,5-14ГМ на водогрейный режим (рис. 2) с использованием перегородок другого типа. Установка двух скорлуп-перегородок в верхнем барабане и двух скорлуп-перегородок в нижнем барабане котла позволила организовать движение воды с рекомендуемыми в [5] скоростями: 1–1,5 м/с – в экранах с опускными трубками, 0,6–0,8 м/с – в экранах с подъемным движением; в конвективных пучках – соответственно 1–1,2 и 0,4–0,6 м/с.

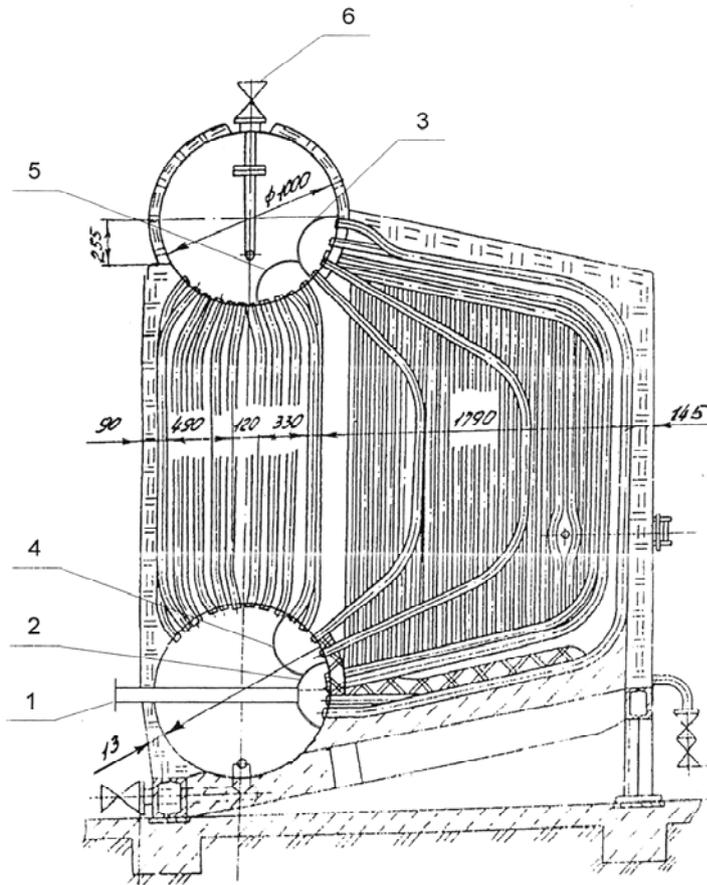


Рис. 2. Схема реконструкции котла ДЕ-6,5-14-ГМ:
1 – патрубок подвода воды;
2 – 5 – скорлупы (перегородки); 6 – патрубок выхода нагретой воды

Вода после экономайзера подается по патрубку 1 в нижний отсек 2 нижнего барабана котла, откуда по двум трубкам переднего экрана и 49 трубкам правого экрана поднимается в верхний отсек 3 верхнего барабана. Следующий ход воды направлен вниз по двум трубкам переднего экрана, 12 трубкам поворотного экрана и верхнему коллектору, объединяющему трубки заднего экрана и циркуляционную трубу. По нижнему коллектору заднего экрана вода поступает в дополнительный отсек, откуда попадает в верхний отсек 4 нижнего барабана. Затем вода направляется вверх по трубкам левого экрана (47 трубок) в нижний отсек 5 верхнего барабана котла.

Четвертый ход воды направлен вниз по двум рядам трубок конвективного пучка (51 трубка) в общую часть нижнего барабана. Пятый ход – вверх по остальным рядам трубок конвективного пучка (131 трубка) в неотгороженное пространство верхнего барабана. Из верхнего барабана вода направляется по патрубку 6 через узел рециркуляции и корректировки температуры в тепловую сеть.

Скорлупы выполнены из сегментных отрезков трубы \varnothing 426 мм. Диаметры подводящего к нижнему барабану и отводящего от верхнего барабана патрубков приняты \varnothing 219 мм. В верхних точках отсеков верхнего барабана установлены патрубки с вентилями для выпуска воздуха (d_v , 25 мм); в нижних точках отсеков нижнего барабана предусмотрены патрубки для слива воды в дренаж (d_s , 40 мм).

Гидравлический расчет показал, что при расходе воды 235 т/ч потери напора в котле не превышают 1 м вод. ст. По результатам теплового расчета, теплопроизводительность котла в водогрейном режиме составит около 5,5 МВт (4,73 Гкал/ч). Фактическая теплопроизводительность ограничивается возможностями установленной горелки ГМГ-4 (бывшей в эксплуатации).

Реконструированный котел работает надежно, бесшумно, с хорошими динамическими показателями при изменении нагрузки, с КПД не менее 90 %. Сказанное подтверждает эффективность предложенного варианта реконструкции котла ДЕ-6,5-14ГМ, выполненной по чертежам силами владельца котельной под авторским надзором.

Таким образом, упрощается эксплуатация котельных с реконструированными котлами, повышается их безопасность, снижается потребление газового топлива, исходной воды и химреагентов водоподготовки.

Заключение

Одним из путей повышения экономичности, надежности и безопасности работы котельных является перевод части или всех паровых котлов на водогрейный режим работы при снижении или полном отсутствии паровой нагрузки.

Следует отметить следующие преимущества предложенных схем перевода котлов ДКВР-6,5-13 и ДЕ-6,5-14ГМ на водогрейный режим работы перед существующими решениями: высокую эффективность реконструированных котлов, увеличение их теплопроизводительности, положительные отзывы обслуживающего персонала.

В каждом отдельном случае перевод должен производиться по специальному проекту с учетом специфики котлов и температурного графика тепловой сети.

Список литературы

1. Глушенко, Л.Ф. Перевод промышленно-отопительных котлов с парового на водогрейный режим [Текст] / Л.Ф. Глушенко, Л.С. Шевцов, Б.В. Кунцевич. – Киев: Будивельник, 1982. – 56 с.
2. Войницкий, С.Ф. Перевод паровых котлов на водогрейный режим работы [Текст] / С.Ф. Войницкий, Я.М. Щелоков // Промышленная энергетика. – 1970. – №4. – С. 23–25.
3. Крючков, Е.Н. Опыт эксплуатации котлов типа ДКВР на водогрейном режиме [Текст] / Е.Н. Крючков, Н.В. Трикашный, В.К. Михайленко // Промышленная энергетика. – 1989. – №1. – С.20–21.
4. Васильев, А.В. Новая схема перевода паровых котлов типа ДКВР на водогрейный режим работы [Текст] / А.В. Васильев, Г.В. Антропов, Ю.И. Акимов // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 11. – С. 25–28.
5. Роддатис, К.Ф. Котельные установки [Текст] / К.Ф. Роддатис. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.

References

1. Glushenko L.F., Shevcov L.S., Kuncевич B.V. Transfer of industrial-heating boilers from steam to a water-heating mode. – Kiev: Budivelnik, 1982. – 56 p.
2. Voiniskyi S.F., Shelokov Y.M. Transfer of steam boilers into a water-heating operating mode. – Industrial energetics, 1970, №4. – P. 23-25.
3. Kruchkov E.N., Trikashnyi N.V., Mihailenko V.K. Operating experience of DKVR type boilers in a water-heating mode. – Industrial energetics, 1989, №1. – P. 20-21.
4. Vasiliev A.V., Antropov G.V., Akimov J.I. The new scheme of DKVR type steam boilers transfer to a water-heating operating mode. – Heat supply news, 2002, № 11. – P. 25-28.
5. Roddatis K.F. Boiler installations. – M.: Energy, 1977. – 432 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Еремкин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
советник при ректоре, зав. кафедрой
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
Тел.: +7 (412) 92-90-81;
факс: 8 (412) 92-90-81
E-mail: eremkin@pquas.ru

Фильчакина Ирина Николаевна,
ст. преподаватель кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
Тел.: (8412) 65-45-72, (8412) 92-94-10,
89374232085
E-mail: Filchakina@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Eremkin Alexander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Adviser at a rector, Head of the department
«Heating, Gas Supply and Ventilation»
Tel.: +7 (412) 92-90-81;
fax: 8 (412) 92-90-81.
E-mail: eremkin@pquas.ru

Filchakina Irina Nikolaevna,
Senior lecturer of the department «Heating,
Gas supply and Ventilation»
Tel.: (8412) 65-45-72, (8412) 92-94-10,
89374232085
E-mail: Filchakina@mail.ru

ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ ДЛЯ РАВНОМЕРНОЙ РАЗДАЧИ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ОППОЗИТНЫЕ ЩЕЛИ В СИСТЕМАХ ВЫТЕСНЯЮЩЕЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

А.И. Ерёмкин, И.Н. Фильчакина

Рассмотрена новая конструкция воздухораспределителя для равномерной подачи приточного воздуха через оппозитные щели в системах вытесняющей вентиляции, что позволит решить задачу получения высокой степени затухания приточной струи и более равномерной скорости воздушного потока по всей длине конструкции на выходе в обслуживаемую зону помещения.

Ключевые слова: система вытесняющей вентиляции; воздухораспределитель; раздача через оппозитные щели.

AIR DISTRIBUTION FOR EVEN INCOMING AIR DISPENSING THROUGH OPPOSITE CHINKS IN SYSTEMS OF FORCED VENTILATION

A.I. Eremkin, I.N. Filchakina

A new design of air distribution for even dispensing of incoming air dispensing through opposite chinks in systems of forced ventilation is offered. It may solve the problem of incoming air blast damping and even velocity of air flow along the length of the dwelling serviced zone.

Keywords: system of forcing out ventilation; air distribution; distribution throught opposite chinks.

Введение

В системах вытесняющей вентиляции применение воздухораспределителей, способных равномерно подавать приточный воздух с малыми скоростями в нижнюю зону помещения, является актуальной задачей, для решения которой предлагается новая конструкция воздухораспределителя с оппозитными щелями и интенсивным гашением скорости приточных струй.

1. Теоретический анализ

Применительно к локальной системе технологического кондиционирования воздуха по типу вытесняющей вентиляции (ЛСТКВ) известен воздухораспределитель [1], являющийся усовершенствованной моделью воздухораспределителя [2] и позволяющий раздавать приточный воздух в трёх направлениях через оппозитные щели, расположенные в трёх стенках воздухораспределителя (рис. 1), непосредственно в технологическую зону прядильной машины. Для уменьшения сопротивления и равномерного выхода воздуха из устройства [1] по сравнению с устройством [2] продольные кромки планок изгибаются по ходу движения воздушного потока, а для сокращения расхода воздуха отсутствует верхний канал для его выхода. Для увеличения степени затухания предусмотрены дополнительные отверстия в стенках воздуховода. По ходу движения воздушного потока поперечное сечение воздухораспределителя уменьшается с целью обеспечения равномерной подачи приточного воздуха в технологическую зону.

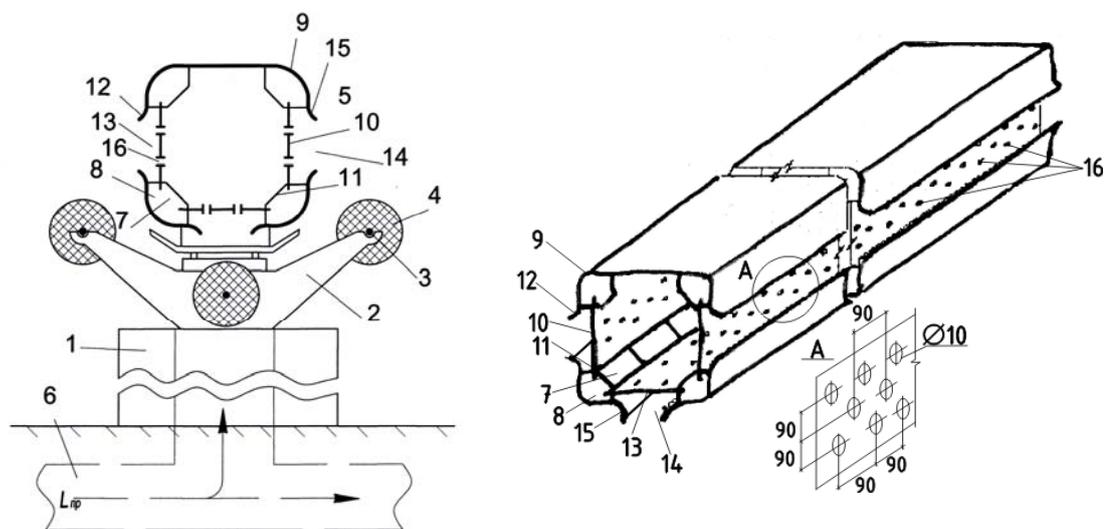


Рис. 1. Воздухораспределитель с трёхсторонней подачей приточного воздуха в технологическое оборудование [1]:

- 1 – прядильная машина; 2 – питающая рамка; 3 – держатель ровничных паковок; 4 – ровничные паковки; 5 – воздухораспределитель; 6 – воздуховод; 7 – продольные выходные щели; 8 – пластинчатые разделители воздушного потока; 9 – изогнутая в поперечном сечении отражательная планка; 10 – плоский экран; 11 – воздухонаправляющие оппозитные насадки; 12 – боковые продольные кромки, изогнутые по ходу движения выходящей струи воздуха; 13 – канал для выхода кондиционированного воздуха; 14 – результирующая щель; 15 – нижние продольные кромки, изогнутые по ходу движения выходящей струи воздуха; 16 – отверстия (перфорация) в плоском экране

2. Техническое решение

В зависимости от конструктивных особенностей технологического оборудования и количества подаваемого в помещение приточного воздуха разработаны воздухораспределительные устройства с двух- и односторонней раздачей (рис. 2), аналогичные устройству [1].

Разработанные конструкции воздухораспределителя для равномерной подачи приточного воздуха по всей его длине позволяют поддерживать внутри себя постоянное статическое давление за счёт уменьшения поперечного сечения по ходу движения воздуха пропорционально его количеству на выходе из результирующей щели. Изменение поперечного сечения производится по одной или двум сторонам воздухораспределительного устройства, при этом условия и характер движения воздушного потока внутри устройства сохраняются.

На рис. 3 представлены различные конструкции приточных воздухораспределительных насадок с оппозитными щелями, имеющих укороченную форму и те же конструктивные решения, что и воздухораспределители удлиённого типа.

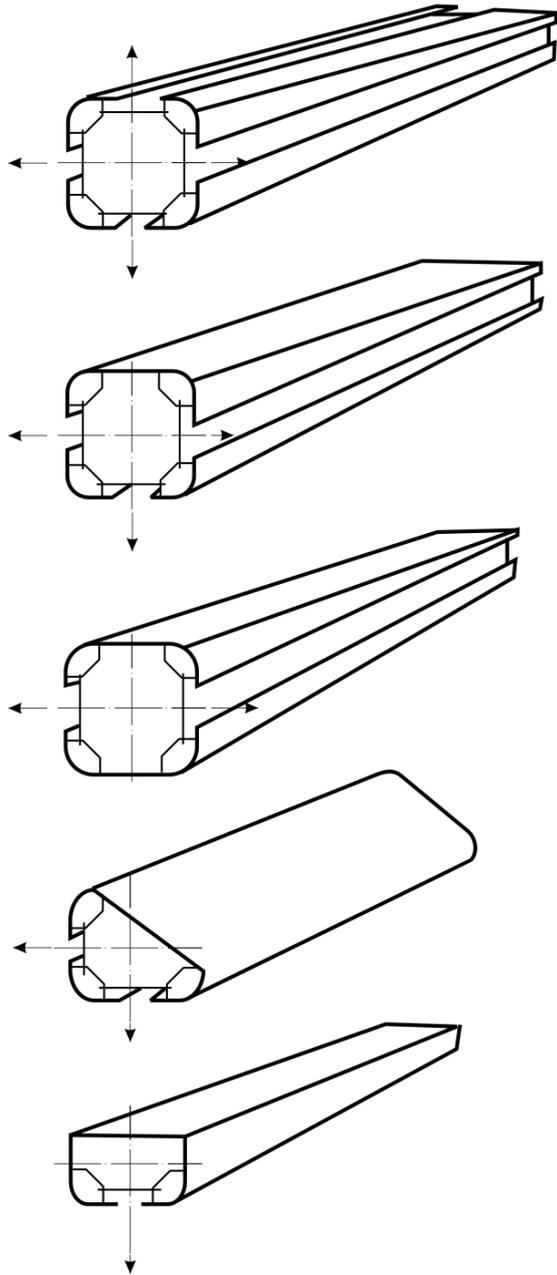


Рис. 2. Воздухораспределительные устройства с различными вариантами изменения сечения и воздухоораздачи [3]

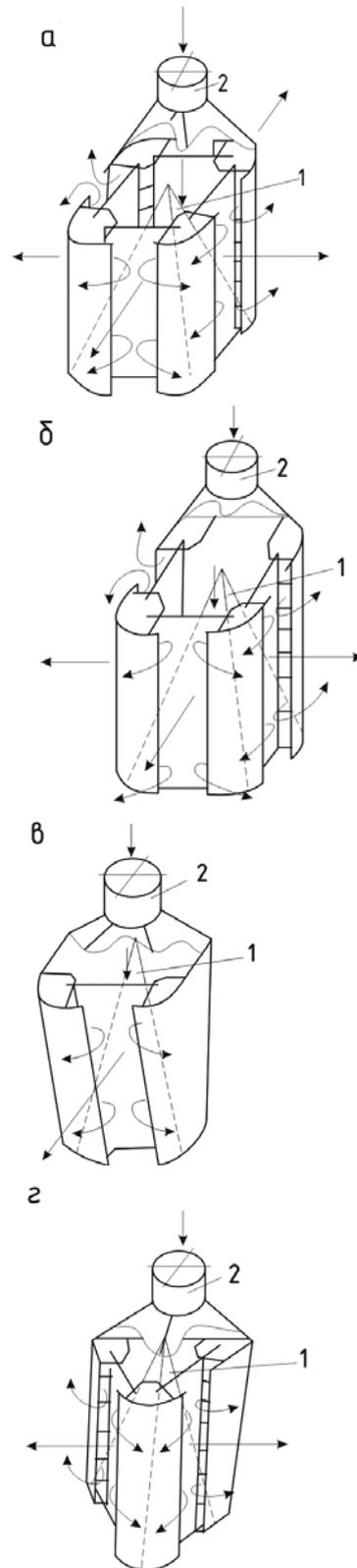


Рис. 3. Воздухораспределительные насадки с оппозитными щелями: 1 – конус; 2 – патрубок [3]

Возможны варианты конструкции приточного насадка без изменения сечения. В этом случае внутри устройства устанавливается конус 1 (см. рис. 3), обеспечивающий полное заполнение внутреннего пространства воздухом и поддержание постоянного статического давления.

В том случае, если при организации воздухообмена не представляется возможным подать весь приточный воздух локально в технологическое оборудование, разработанные воздухораспределительные устройства (см. рис. 2, 3) могут применяться комбинированным способом.

3. Основные характеристики и особенности воздухораспределителя

Воздухораспределитель для равномерной раздачи воздуха при истечении его в виде плоских пристенных встречных струй через оппозитные щели (рис. 4) позволяет:

- снизить величину и повысить равномерность и стабильность скорости V_2 приточного воздуха на выходе из оппозитных щелей;
- обеспечить равномерность раздачи воздуха при переменном статическом давлении вдоль канала.

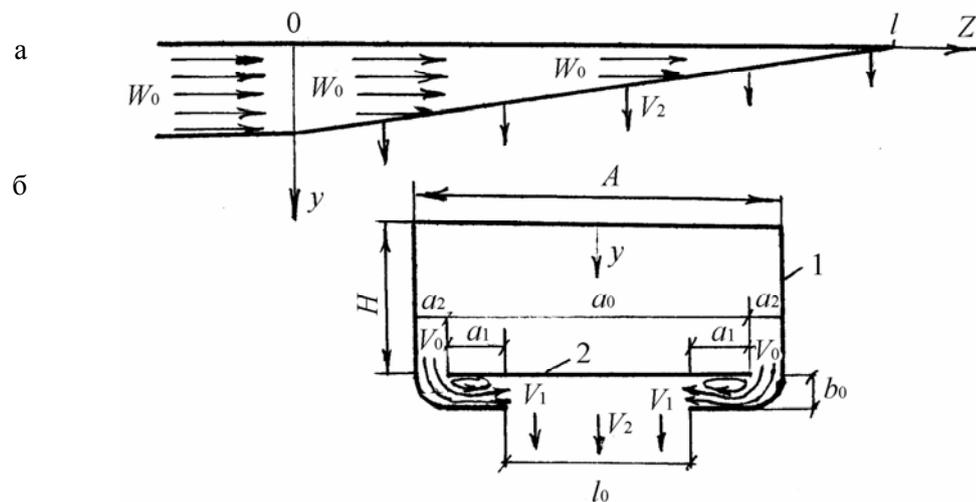


Рис. 4. Общий вид воздухораспределителя для равномерной раздачи воздуха с линейно уменьшающейся площадью поперечного прямоугольного сечения (а) по высоте и схема истечения воздуха в поперечном сечении (б):
1 – корпус; 2 – экран

Воздух вытекает из канала через две расположенные в нижних углах воздухораспределителя продольные щели шириной a_2 , обтекает кромки экрана 2, разворачивается и в виде двух встречных пристенных плоских струй вытекает из оппозитных продольных щелей шириной b_0 . Струи сталкиваются, и результирующий поток вытекает по нормали к экрану через продольную щель шириной l_0 .

Внутри воздухораспределителя можно выделить три характерных поперечных сечения потока: вход в горизонтальную щель шириной a_2 (средняя скорость истечения V_0); выход из вертикальной щели шириной b_0 (V_1); выход из горизонтальной щели шириной l_0 (V_2).

С учетом неразрывности потока соотношение для этих сечений примет вид

$$2 \cdot V_0 \cdot a_2 = 2 \cdot V_1 \cdot b_0 = V_2 \cdot l_0. \quad (1)$$

При входе потока в длинную щель шириной a_2 и обтекании острой кромки экрана поток по инерции отрывается от кромки и образует под ней застойную отрывную зону вихреобразного течения. Это влечет за собой уменьшение поперечного сечения (сжатие) струи. При обтекании зоны отрыва направление течения в струе меняется, и

поток становится равномерным и направленным вдоль экрана только после отрывной зоны. Взаимодействие именно таких струй и приводит к гашению скорости результирующего потока на выходе из щели шириной l_0 . Согласно работе [4], длина застойной зоны за острой кромкой равна примерно 2–3 значениям a_2 . Поэтому должно выполняться соотношение $a_1 \geq 3a_2$.

При переменном статическом давлении $P(Z)$ в потоке вдоль канала для сохранения постоянства скорости истечения V_1 из выходной щели ширину входной щели $a_2(Z)$ (её местное гидравлическое сопротивление) необходимо изменять соответствующим образом. Соотношение между разностью $\Delta P = P(Z) - P_{\text{атм}}$ статических давлений внутри и снаружи канала и шириной щели $a_2(Z)$ имеет вид

$$\frac{a_2(Z)}{b_0} = \sqrt{\frac{\xi \cdot \rho \cdot V_1^2}{2 \cdot \Delta P}}. \quad (2)$$

Отсюда следует, что $a_2(Z)$ и ΔP являются обратными величинами, т.е. при увеличении статического давления вдоль канала ширину $a_2(Z)$ входной щели нужно уменьшать, и наоборот.

Величина коэффициента местного сопротивления ξ определяется по [4] для выхода из прямого колена при острой кромке поворота. Эта величина зависит от соотношения размеров $a_1, a_2, b_0 / \xi = \xi \cdot (b_0 / a_2, a_1 / a_2)$. При этом ширину a_2 входной щели следует всегда выбирать меньше ширины b_0 выходной: $a_2(Z) < b_0$. В этом случае на местное гидравлическое сопротивление преобладающее влияние оказывает именно ширина a_2 входной щели.

4. Методика расчёта воздухораспределителя

Для равномерной раздачи воздуха при истечении его в виде встречных пристенных плоских струй из оппозитных щелей (см. рис. 4) характеристики устройства имеют следующие значения: объемный расход воздуха $L_0 = 3600 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($1 \text{ м}^3/\text{с}$); длина $l = 20 \text{ м}$; продольная скорость воздуха во входном квадратном сечении $W_0 = 12 \text{ м/с}$; ширина горизонтальной щели $l_0 = 0,2 \text{ м}$.

Конструктивные размеры воздухораспределителя: площадь входного квадратного сечения $F_0 = 0,083 \text{ м}^2$; стороны квадрата (ширина) $A = 0,289 \text{ м}$; высота входного квадратного сечения: $H = 0,289 \text{ м}$ (отсчитывается от экрана до верхней стенки); площадь горизонтальной выходной щели $F_{\text{щ}} = 4 \text{ м}^2$; средняя скорость истечения из воздухораспределителя (из горизонтальной щели) $V_2 = 0,25 \text{ м/с}$; размеры $(a_1 + a_2) = (A - l_0) / 2 = 0,045 \text{ м}$; ширина выходных оппозитных щелей выбирается из условия $l_0 / b_0 \approx 15$ (условие равномерности вытекающего из щели шириной l_0 потока после взаимодействия встречных пристенных струй), т.е. $b_0 = 14 \text{ мм}$; средняя скорость истечения из щели составит $V_1 = V_2 \cdot l_0 / 2 \cdot b_0 = 1,8 \text{ м/с}$.

Выбором начальной ширины $a_2(0)$ входной щели однозначно задаем величину статического давления P_0 на входе воздухораспределителя.

Для расчёта изменения параметров потока воздуха, а также геометрических размеров вдоль воздухораспределителя делим его на 10 равных участков длиной по 2 м. Средние части участков имеют координаты: $Z = 1, 3, 5 \dots 17, 19 \text{ м}$. В этих точках, а также в начале ($Z = 0$) и в конце канала и определим все искомые характеристики.

Расчёт выполнен для воздухораспределителя: постоянного поперечного квадратного сечения площадью F_0 ; с линейно уменьшающейся площадью поперечного сечения и постоянной шириной A (клиновидный канал) (рис. 4, а); постоянного поперечного квадратного сечения площадью $3F_0$ с равномерной трёхсторонней раздачей. Результаты расчёта приведены на рис. 5, 6.

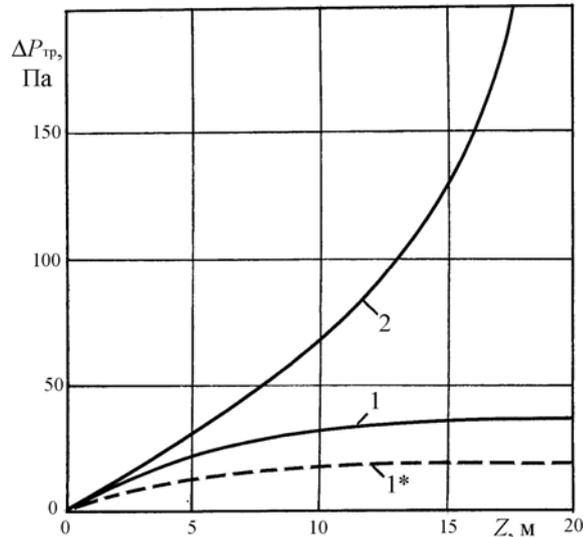


Рис. 5. Повышение затрат давления на преодоление трения при движении потока вдоль воздухораспределителя с равномерной раздачей [3]:

1 – канал постоянного поперечного сечения; 2 – канал с линейно уменьшающейся площадью поперечного сечения; 1* – канал постоянного поперечного сечения площадью $3F_0$ с трёхсторонней раздачей

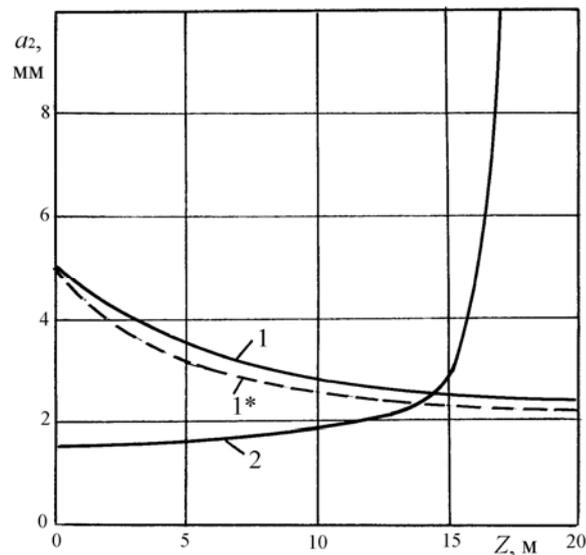


Рис. 6. Изменение ширины входной щели вдоль воздухораспределителей для равномерной раздачи воздуха [3]: 1 – канал постоянного поперечного сечения;

1* – канал постоянного поперечного сечения площадью $3F_0$ с трёхсторонней раздачей воздуха; 2 – клиновидный канал

Предлагаемая конструкция воздухораспределителя для равномерной раздачи приточного воздуха через оппозитные щели, выполненная в различных конструктивных решениях (см. рис. 2), была испытана в лабораторных условиях на экспериментальном стенде методом неполного физического моделирования [5, 6], а затем внедрена в прядильное производство и испытана в натуральных условиях на ОАО «Сурская мануфактура» им. Асеева в г. Сурске Пензенской области [3], что позволило осуществить подачу большого количества приточного воздуха с достаточно малыми скоростями на выходе непосредственно в технологическое оборудование.

Список литературы

1. Пат. 2128253 Российская Федерация, МПК⁶ D 01 H011/00. Устройство локальной раздачи воздуха в прядильной машине [Текст] / А.И. Ерёмкин, О.А. Базорова; заявитель и патентообладатель Пензенский архит.-строит. ин-т. – № 96123359/12; заявл. 10.12.96; опубл. 20.08.02, Бюл. № 9 (II ч). – 2 с.: ил.
2. А.с. №1664901. Прядильная машина [Текст] / А.И. Ерёмкин, Н.Я. Кириленко (СССР). – №4395529; заявл. 21.03.88; опубл. 23.07.91, Бюл. № 27. – 2 с.: ил.
3. Ерёмкин, А.И. Локальное кондиционирование вытесняющего типа текстильных предприятий: монография [Текст] / А.И. Ерёмкин. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2006. – 390 с.
4. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975. – 560 с.
5. Ерёмкин, А.И. Применение и обоснование использования вытесняющей вентиляции в локальной системе технологического кондиционирования воздуха в прядильном производстве текстильной промышленности [Текст] / А.И. Ерёмкин, И.Н. Фильчакина // Изв. вузов. Строительство. – 2009. – № 2. – С. 49–53.
6. Ерёмкин, А.И. Технологическое кондиционирование по типу вытесняющей вентиляции в производственных помещениях с теплоизбытками [Текст] / А.И. Ерёмкин, И.Н. Фильчакина // ACADEMIA. Архитектура и строительство. – 2007. – № 2. – С. 89–93.

References

1. Patent 2128253 the Russian Federation, IPC⁶ D 01 H011/00/ A device of local air distribution in a spinning mechanism [Text] / A.I. Eremkin, O.A. Bazorova; the applicant and topossess the patent Penza State university of Architecture and Construction. – № 96123359/12; stated 10.12.96; publish 20.08.02, bull. № 9. – 2p.: ill.
2. Copyright certificate №1664901. A spinning mechanism [Text] / A.I. Eremkin, N.Y. Kirilenko (USSR). / № 4395529; stated 21.03.1988; publish 23.07.1991, bull. № 27. – 2 p.: ill.
3. Eremkin, A.I. Textile enterprises local air-conditioning of forced out type: monography [Text] / A.I. Eremkin. – Saratov: Saratov state technical university, 2006. – 390 p.
4. Idelchik I.E. Directory on hudraulic resistance [Text] / I.E. Idelchik. – M.: Machine industry, 1975. – 560 p.
5. Eremkin, A.I. Research of local system of air conditionings as superseding ventilation in spinning manufacture of textile industry [Text] / A.I. Eremkin, I.N. Filchakina // News of higt schools. Building. – 2009. – № 2. – P. 49–53.
6. Eremkin A.I. Technological air-condition as forcing out ventilation in industrial premises with thermal super uses [Text] / A.I. Eremkin, I.N. Filchakina // ACADEMIA. Architecture and building. – 2007. – № 2. – P. 89–93.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Королева Тамара Ивановна,

кандидат экономических наук, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Тел.: 8(412) 92-94-10

E-mail: tgv@pguas.ru

Кузьмишкин Алексей Александрович,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Тел.: 8(412) 92-94-10

E-mail: tgv@pguas.ru

Васин Михаил Евгеньевич,

аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Тел.: 8(412) 92-94-10

E-mail: tgv@pguas.ru

Ивашенко Никита Юрьевич,

студент

Тел.: 8(412) 92-94-10

E-mail: tgv@pguas.ru

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Koroleva Tamara Ivanovna,

Candidate of Science in Economy, Professor of the department «Heating, gas supply and ventilation»

Tel.: 8(412) 92-94-10

E-mail: tgv@pguas.ru

Kuzimishkin Alekey Aleksandrovich,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Heating, Gas supply and ventilation»

Tel.: 8(412) 92-94-10

E-mail: tgv@pguas.ru

Vasin Mihail Evgenievich,

Postgraduate of the of the department «Heating, Gas supply and ventilation»

Tel.: 8(412) 92-94-10

E-mail: tgv@pguas.ru

Ivachenko Nikita Yurievich,

student

Tel.: 8(412) 92-94-10

E-mail: tgv@pguas.ru

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ – ПУТЬ К ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

Т.И. Королева, А.А. Кузьмишкин, М.Е. Васин, Н.Ю. Ивашенко

Актуальность использования энергии солнечной радиации для горячего водоснабжения и отопления зданий и сооружений постоянно растёт, поскольку ее применение обеспечивает устойчивое теплоснабжение в зонах отсутствия централизованных энергосистем, позволяет снизить ущерб от аварийных и плановых отключений, улучшить экологическую ситуацию и избежать теплового загрязнения окружающей среды. Сегодня системы солнечного теплоснабжения могут эффективно применяться даже в широтах с невысокой солнечной активностью, например, Пензенская область.

Ключевые слова: энергоэффективные здания, возобновляемые источники энергии, инсоляция, солнечный коллектор.

RENEWABLE ENERGY SOURCES – A WAY TO POWER SAVINGS

T.I. Koroleva., A.A. Kuzimishkin, M.E. Vasin, N. Y. Ivashenko

The use of solar energy for hot water supply and buildings and structures heating is constantly growing, because its use ensures stable heat supply in the areas without centralized power supply systems, allows to avoid damage from emergency and planned outages, improve the environmental situation and avoid thermal pollution of the environment. Today, solar thermal systems can be effectively used even in areas with low solar activity, for example, in the Penza region.

Keywords: energy-efficient buildings; renewable sources of energy, insolation, solar collector..

В настоящее время большая доля энергетических ресурсов страны тратится на теплоснабжение жилых, общественных и промышленных зданий. За время существования человечества, по данным различных источников, расход энергии составил 16-18Q, где Q=3,61010 т у.т. Половина использованной энергии приходится на последнюю четверть века [1].

Значительная часть этой энергии расходуется на теплоснабжение коммунально-бытового сектора. Теплопотери через наружные стены и перекрытия составляют примерно 40 %, через окна – 30 %, на нагрев инфильтрационного и вентиляционного воздуха – 30 %. При некачественном изготовлении окон часть тепловой энергии, идущей на нагрев инфильтрационного воздуха, возрастает до 70 % [2]. Распределение теплотрат и потенциал энергосбережения в типовом жилом доме приведены ниже:

- наружные стены – 30 % (потенциал энергосбережения 50 %);
- окна – 35 % (потенциал энергосбережения 50 %);
- покрытие, пол – 10 % (потенциал энергосбережения 50 %);
- горячее водоснабжение – 10 % (потенциал энергосбережения 30 %);
- вентиляция – 15 % (потенциал энергосбережения 50 %).

В России удельная потребность сооружений в тепловой энергии составляет 350–550 кВт·ч/(м·год). В скандинавских странах дома потребляют 120-150 кВт·ч/(м²·год), а так называемые энергоэффективные дома потребляют не больше 60-80 кВт·ч/(м·год) [1].

Возобновляемые источники энергии рассматриваются как существенное дополнение к традиционным. Среди возобновляемых источников энергии солнечная радиация по масштабам ресурсов, экологической чистоте, повсеместной распространенности и долговечности (Солнце не остынет еще 5 миллиардов лет) наиболее перспективна.

Цель – запроектировать системы отопления и горячего водоснабжения, а также систему, обеспечивающую нагрев воды плавательного бассейна 30×30 м в городе Пензе с использованием экологически чистого возобновляемого источника энергии.

Под теплоснабжением здания подразумевается оборудование его системой отопления и системой горячего водоснабжения, а также системой, обеспечивающей нагрев воды в бассейне.

Основной задачей при проектировании типового плавательного бассейна является обеспечение эффективной работы системы отопления здания, направленной на поддержание микроклимата помещений в соответствии с нормами [3, 4].

Теплоснабжающим элементом системы отопления является установка с гелиоколлектором SintSolar CS, который располагается на крыше здания [5].

Определяем среднечасовой и среднесуточный КПД солнечного коллектора, установленного под углом 60° к горизонту в г. Пензе (52°с.ш.).

Применяем:

- Стugna-H – используется в качестве теплоносителя;
- трубы, по которым циркулирует теплоноситель, и соединительная пластина изготовлены из меди;

– длина солнечного коллектора – 2 м;

– внутренний диаметр труб, по которым циркулирует теплоноситель, $D=0,01$ м;

– толщина стенки трубы $d=0,0005$ м;

– толщина соединительной пластины $\Delta=0,005$ м;

– расстояние между осями труб $l=0,15$ м;

– суммарный коэффициент тепловых потерь на поверхности коллектора $\psi_c = 8$ Вт/м²·К;

– коэффициент теплоотдачи к теплоносителю $\alpha_c = 1500$ Вт/м²·К;

– коэффициент пропускания покрытия солнечного коллектора $\tau_c = 0,9$;

– коэффициент поглощения поверхности соединительной пластины $\alpha_{cs} = 0,9$;

– температура теплоносителя на входе в коллектор $T_{fl} = 330$ К;

– удельная изобарная теплоёмкость теплоносителя $C_p = 4500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

– массовый расход воды в коллекторе $G = 0,02$ кг/с;

– доля диффузионного излучения от полного солнечного излучения $\kappa_d = 0,25$;

– широта г. Пенза $\varphi = 52^\circ$ с.ш.

– склонение Солнца $\delta_s = -23^\circ$;

– угловое смещение $h_s = 15^\circ$.

Отражательная составляющая излучения не учитывается. Значения полной инсоляции температуры окружающей среды приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Полная инсоляция температуры окружающей среды

Время суток	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
H_b Вт/м ²	12	80	192	320	460	474	395	287	141	32
T_{air}	270	280	283	286	290	288	288	288	284	280

Данный расчёт производится с использованием пакета Mathcad.

Определен коэффициент наклона:

$$R_b = \frac{\sin \delta_s \cdot \sin(\phi - \beta) + \cos \delta_s \cdot \cos(\phi - \beta) \cdot \cosh_s}{\sin \phi \cdot \sin \delta_s + \cos \phi \cos \delta_s \cosh_s} = 2,113. \quad (1)$$

Полное почасовое излучение Солнца для каждого интервала времени [6] приведено в табл. 2:

$$Jc = R_b \cdot B_h + D_h \frac{1 + \cos \beta}{2}; \quad (2)$$

$$Jc = R_b(1 - kd)Hi + k_a H_i \frac{1 + \cos \beta}{2}. \quad (3)$$

Т а б л и ц а 2

Полное почасовое излучение Солнца

Время	Jc	Время	Jc
7-8	21,3	12-13	840,22
8-9	141,9	13-14	700,2
9-10	340,34	14-15	508,7
10-11	567,3	15-16	249,9
11-12	815,4	16-17	56,7

Полное дневное излучение Солнца, Вт/м²:

$$\sum Jc = 4,242 \cdot 10^3. \quad (4)$$

Коэффициент эффективности поглощения излучения ребра трубы солнечного коллектора:

$$\eta_f = \frac{th(\xi w)}{\xi w}; \quad (5)$$

$$\eta_f = \frac{th\left(\sqrt{\frac{\psi c}{\lambda \Delta}} \left(\frac{l-D}{2}\right)\right)}{\sqrt{\frac{\psi c}{\lambda \Delta}} \left(\frac{l-D}{2}\right)} = 0,938. \quad (6)$$

Коэффициент эффективности поглощения излучения солнечного коллектора:

$$\eta_f = \frac{\alpha_c \pi D (D + 2w \eta_f)}{(D + 2w) [\alpha_c \pi D + \psi_c (D + 2w \eta_f)]} = 0,92. \quad (7)$$

Коэффициент отвода теплоты:

$$\chi_{отв} = \frac{Gc \cdot c_p}{\psi_c} \left[1 - \exp\left(-\frac{\psi_c \cdot \eta_k}{Gc \cdot c_p}\right) \right] = 0,84. \quad (8)$$

Полезный тепловой поток для каждого интервала времени приведён в табл. 3:

$$q_e = \frac{\Phi_c}{F_c} = \chi_{отв} [\alpha_{sc} \tau_c J_{ci} - \psi_c (T_f - T_{air})]. \quad (9)$$

Т а б л и ц а 3

Полезный тепловой поток для каждого интервала времени

Время	q_e	Время	q_e
7-8	-390,2	12-13	304,2
8-9	-240,6	13-14	195,1
9-10	-84,6	14-15	64,2
10-11	90,6	15-16	-139,6
11-12	287,2	16-17	-298,7

Отрицательные значения теплового потока, как не имеющие физического смысла, приравниваются к нулю:

$$Q_{e7-8}=0; Q_{e8-9}=0; Q_{e9-10}=0; Q_{e15-16}=0; Q_{e16-17}=0.$$

Суммарные значения полезного теплового потока в течение светового дня, Вт/м²:

$$\sum q_{ei} = 941,306. \quad (10)$$

Среднечасовой КПД солнечного коллектора:

$$\eta_u = \frac{q_e}{J_c}. \quad (11)$$

Результаты расчёта сведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Среднечасовой КПД солнечного коллектора

Время	q_e	Время	q_e
7-8	0	12-13	0,362
8-9	0	13-14	0,279
9-10	0	14-15	0,126
10-11	0,16	15-16	0
11-12	0,352	16-17	0

Среднесуточный КПД солнечного коллектора:

$$\eta_u = \frac{q_e}{J_c} = 0,222. \quad (12)$$

Определена необходимая площадь солнечных коллекторов по следующей формуле:

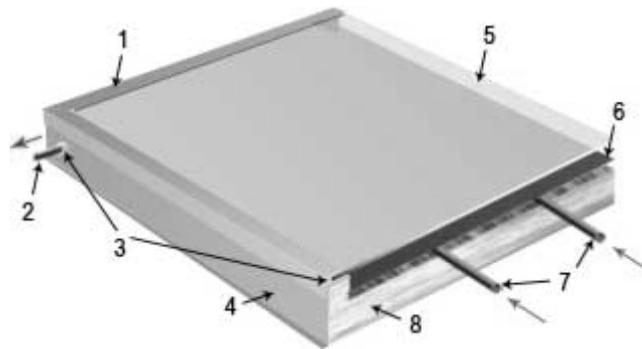
$$A = \frac{Q}{\eta_{\text{с}} \cdot q_{\text{в}}} = 298 \text{ м}^2, \quad (13)$$

где Q – суммарные теплотери проектируемого здания; $\eta_{\text{с}}$ – среднесуточный КПД солнечного коллектора; $q_{\text{в}}$ – суммарный тепловой поток.

Определено необходимое количество солнечных коллекторов SintSolar CS. Площадь одного коллектора составляет $A=2,05 \text{ м}^2$

$$n = \frac{A_{\text{общ}}}{A} = 146 \text{ шт.} \quad (14)$$

Монтаж солнечных коллекторов должен производиться на крыше здания на специально изготовленных для них опорах, которые позволят максимально эффективно использовать коллекторы SintSolar CS и будут обеспечивать удобство их обслуживания (см. рисунок).



Общее устройство солнечного коллектора SintSolar:

- 1 – съёмный прижимной уголок; 2 – подсоединительный патрубок; 3 – силиконовая уплотнительная резина; 4 – алюминиевый корпус; 5 – прозрачная изоляция (стекло с пониженным содержанием железа); 6 – медный абсорбер (телопоглощающая панель); 7 – параллельные медные трубки; 8 – теплоизоляция толщиной 50 мм

Солнечный коллектор SintSolar состоит из теплоизолированного анодированного алюминиевого корпуса, внутри которого расположена медная поглощающая панель с высокоселективным поглощающим покрытием. Поглощающая панель состоит из медной ленты с высокоселективным покрытием и припаянных к ней медных теплоотводящих трубок, через которые прокачивается жидкий теплоноситель. Сверху поглощающая панель закрыта прозрачной изоляцией. Высокоселективное покрытие поглощающей панели, а также большая площадь контакта медных трубок с медной лентой обеспечивает высокую эффективность работы коллектора.

Под воздействием солнечного излучения (инфракрасной составляющей) в поглощающей панели происходит преобразование солнечной в тепловую энергию, в результате медная лента разогревается, а прокачиваемый через медные трубки жидкий теплоноситель отбирает полученное тепло. Высокоселективное покрытие прозрачно для инфракрасного излучения, но является зеркалом для теплового, в связи с этим преобразованная энергия практически не излучается поглощающей панелью. Прозрачная изоляция и теплоизоляционный слой уменьшают потери тепловой энергии [7].

Актуальность использования энергии солнечной радиации для горячего водоснабжения и отопления зданий и сооружений постоянно растёт, поскольку её применение обеспечивает устойчивое теплоснабжение в зонах отсутствия централизованных энергосистем, позволяет снизить ущерб от аварийных и плановых отключений, улучшить экологическую ситуацию и избежать теплового загрязнения окружающей

среды. Сегодня системы солнечного теплоснабжения могут эффективно применяться даже в широтах с невысокой солнечной активностью, например, Пензенская область.

В рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Госконтракт № 16.740.11.0069 от 01 сентября 2010г.) данная проблема широко рассмотрена, и использование энергии солнечной радиации для горячего водоснабжения и отопления зданий и сооружений станет приоритетным в Российской Федерации

Список литературы

1. Мхитарян, Н.М. Гелиоэнергетика. Системы, технологии, применение [Текст] / Н.М. Мхитарян. – Киев: Наукова думка, 2002.
2. Табунщиков, Ю.А. Энергоэффективные здания: мировой и отечественный опыт [Текст] / Ю.А. Табунщиков // Энергия: экономика, техника, экология. – 2004. – №10.
3. СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий [Текст]. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004
4. СНиП 41-01–2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование [Текст]. – М.: ГК РФ по строительству и ЖКХ.
5. СНиП 23-01–99. Строительная климатология [Текст]/ Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2000.
6. СНиП 2.01.01–82. Строительная климатология и геофизика [Текст]. – М.: Стройиздат. 1983.
7. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения [Текст] / Р.Р. Аvezов, М.А. Барский-Зорин, И.М. Васильева [и др.]; под ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.: ил.

References

1. Mhataryan N.M. Solar power engineering. Systems, technologies, application. – Kiev: Naukova dumka, 2002.
2. Tabunchikov Y.A. Power effective buildings: world and domestic experience // Energy: economy, technics, ecology. – 2004. – №10.
3. Building norms and rules 23-02–2003. Thermal protection of buildings. – М.: Gosstroy of Russia, FGUP CPP, 2004
4. Building norms and rules 41-01–2003. Heating, ventilation and air-conditioning. – М.: GK RF РФ On building and housing and communal services.
5. Building norms and rules 23-01–99. Building climatology / Gosstroy of Russia. – М.: FGUP CPP, 2000.
6. Building norms and rules 2.01.01–82. Building climatology and geophysics. – М.: Stroyizdat, 1983.
7. Systems solar heat – and hladosupply / R.R. Avezov, M.A. Barskij-Zorin, I.M. Vasilieva Etc.; Under the editorship of E.V. Sarnatsky and S.A.Chistovicha. – М.: Stroyizdat, 1990. – 328 p.: silt.

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Россия, 443001, г.Самара,
ул.Молодогвардейская, 194
тел.: (846) 421784;
факс: (846) 321965,335662,423700

Титов Геннадий Иванович,
профессор кафедры ТГВ
Новопашина Надежда Андреевна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры ТГВ

Samara State Architectural University

Russia, 443001, Samara, 194,
Molodogvardeyskay St.,
tel.: (846) 421784;
fax: (846) 321965,335662,423700

Titov Gennadiy Ivanovich,
Professor of the department TGV
Novopashina Nadezhda Andreevna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department TGV

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Г.И. Титов, Н.А. Новопашина

Акцент делается на том, что в настоящих экономических условиях основой технической политики должны стать прибыльность и целесообразность строительства и реконструкции теплоисточников и систем транспорта тепла.

Подчеркивается, что особую роль играют надежность тепловых сетей, их стабильная работа с возможностью прогнозирования их состояния.

Ключевые слова: тепловые сети, срок эксплуатации, причины повреждаемости, динамика удельных повреждений.

INVESTIGATION OF HEAT NETWORKS RELIABILITY

G.I. Titov, N.A. Novopashina

In present economic conditions profitability and expediency of construction and reconstruction of heat transport systems should become the basis of technological policy.

Networks reliability, their stable work and possibility to predict their state play special role now.

Keywords: heat networks, lifetime, causes damage, the dynamics of the specific damage.

В последнее время все большее внимание уделяется проблемам экономии топливно-энергетических ресурсов и экологической безопасности.

Более 40 % всего топлива России используется на нужды теплоснабжения. Причем иногда более половины безвозвратно теряется, в том числе из-за аварий и отказов в тепловых сетях.

Современное состояние систем транспорта тепла

В настоящее время централизованные источники тепла выработали свой ресурс более чем на 70 %, а состояние тепловых сетей таково, что тепловые потери при транспорте теплоносителя доходят до 20 % (при норме не более 5 %), а его утечки – 18-20 % (при норме 0,25 % от объема теплоносителя в системе). Степень износа тепловых сетей сегодня оценивается до 70 % и более. Поэтому тепловые сети являются наиболее слабым звеном в общей системе теплоснабжения: источник – сети – потребитель.

При теплоплотности 0,5–1,5 МВт/Га (что характерно для городов с населением более 500 тыс. чел.) и мощности теплоисточников 30–50 МВт экономия топлива при их модернизации оказывается ниже, чем увеличение затрат на изношенные тепловые сети.

В настоящее время системы теплоснабжения требуют значительных капитальных вложений, причем окупаемость возможна через 8–10 лет, что в сегодняшних экономических условиях малопривлекательно для инвесторов.

Система теплоснабжения в России стала самым крупным потребителем топлива (более 25 % производственных и более 40 % потребленных ресурсов в стране). В тепловом хозяйстве России действуют 485 ТЭЦ, около 6500 котельных мощностью

более 20 Гкал/ч, 180000 котельных малой мощности, сотни тысяч индивидуальных установок и печей. Эксплуатируется около 260 тыс. км тепловых сетей.

Анализ современного состояния тепловых сетей на примере городов Самарской области показал, что резервы надежности теплоснабжения зависят от конструктивных особенностей тепловых сетей, их протяженности и способов эксплуатации. В основу анализа повреждаемости трубопроводов тепловых сетей положены статистические данные «Карт повреждений», составленных для различных районов Самарских тепловых сетей.

Срок эксплуатации трубопроводов теплосетей представлен в табл. 1, а динамика изменения их протяженности по г. Самаре – на рис. 1.

Т а б л и ц а 1

Срок эксплуатации тепловых сетей

Наименование	Всего	До 5 лет	От 5 до 10 лет	От 10 до 15 лет	От 15 до 20 лет	От 20 до 25 лет	Свыше
СТС	315,95	46,5	68,66	59,55	44,24	33,85	63,15

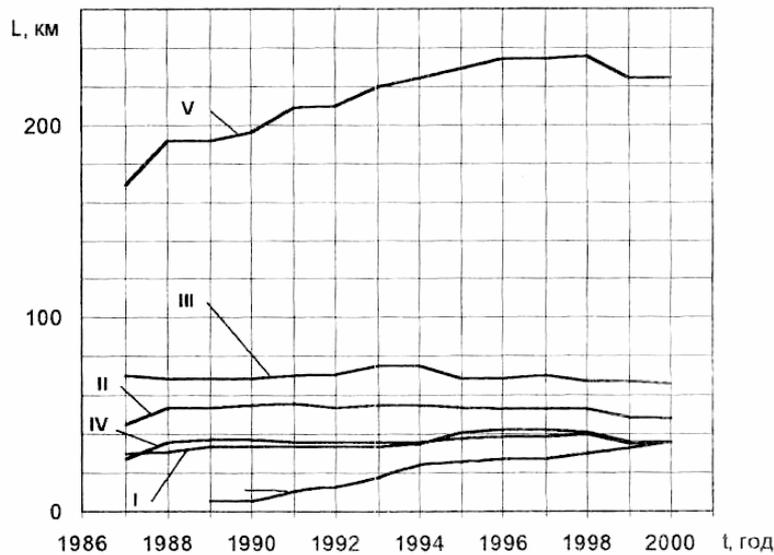


Рис. 1. Динамика изменения протяженности теплосетей г. Самары по тепловым районам (I-V) и (VI)

Эффективность работы тепловой сети зависит от ее конструкции, протяженности, срока и условий эксплуатации. На надежность сети влияют и факторы окружающей среды: почва, грунтовые воды и т.д. На рис. 2 отражены основные предпосылки, снижающие надежность тепловых сетей. Десять выделенных предпосылок можно объединить в более крупные и емкие причины повреждений, которые и были исследованы: наружная коррозия, внутренняя коррозия, длительная эксплуатация и случайные причины. Их влияние на надежность тепловых сетей на примере Самарских тепловых сетей показано на рис. 3.



Рис. 2. Предпосылки снижения надежности тепловых сетей

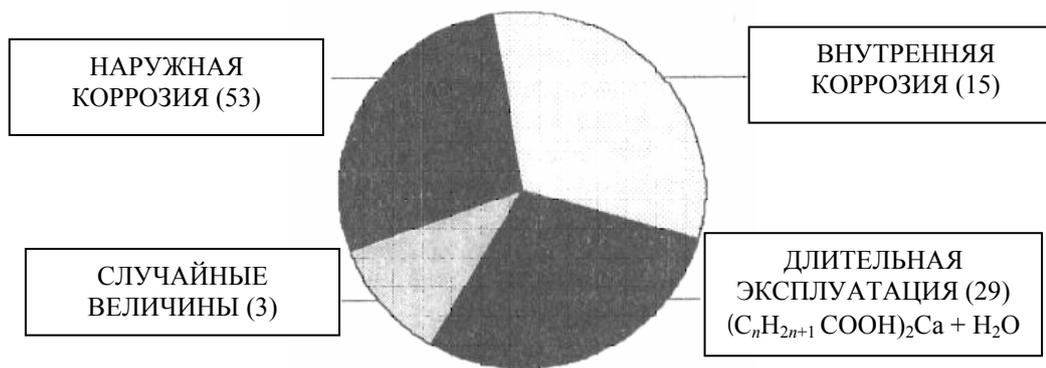


Рис. 3. Причины повреждений в Самарских тепловых сетях (в процентах)

Анализ причин появления наружной коррозии трубопроводов тепловой сети

Трубопроводы тепловой сети соприкасаются с грунтом и грунтовыми водами, что приводит к электрохимической наружной коррозии металла. Интенсивность этого процесса зависит от первых пяти предпосылок (см. рис. 2):

- 1) способа прокладки и конструкции тепловых сетей;
- 2) материала труб и арматуры;
- 3) наличия гидроизоляции и защитных покрытий;
- 4) конструкции и материала теплоизоляции;
- 5) коррозионной активности грунта и грунтовых вод.

Существующие конструкции гидроизоляционного покрытия, подвижных и неподвижных опор, проходы в камеры и прочее позволяют соприкасаться металлу труб с почвенными водами, что приводит к возникновению, при определенных обстоятельствах, электрохимической коррозии и усилению коррозии от блуждающих токов.

Влияние температуры. Регулирование отпуска тепла, как правило, осуществляется качественным путем, то есть за счет изменения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе. Влияние температуры сказывается на процессе коррозии металла в зависимости от того, происходит ли процесс коррозии с кислородной или с водородной поляризацией. В почвенных условиях вследствие слабой концентрации растворов кислорода следует ожидать процессов коррозии, происходящих с кислородной поляризацией. При этом скорость наружной коррозии растет с увеличением температуры примерно до 80 °С. Начиная с этой температуры и выше скорость коррозии снижается вследствие резкого уменьшения концентрации растворенного кислорода в воде.

Влияние внутренних и внешних растягивающих усилий и вибрации. Коррозия металла усиливается, если он подвергается воздействию внутренних и внешних растягивающих усилий или вибрации. В зависимости от температуры и величины показателя рН коррозию от растягивающих напряжений можно ожидать в сварных швах и стыках.

Влияние положения уровня грунтовых вод и удельного сопротивления почвы. Положение уровня грунтовых вод относительно глубины прокладки труб тепловой сети также оказывает существенное влияние на скорость их коррозии. Наиболее неблагоприятным оказывается вариант, когда трубопроводы тепловых сетей проложены на уровне грунтовых вод и периодически (в зависимости от времени года и погодных условий) подвергаются увлажнению.

Благодаря растворению и диссоциации присутствующих в почве солей снижается удельное сопротивление почвы, что также приводит к ускорению коррозии. Удельное сопротивление грунтов и почв составляет, Ом/м:

гумуса (перегной)	– 14;
глины	– 1;
суглинков	– 310;
песка	– 405000;

гравия	– 4020;
щебня	– 40200.

Влияние воздействия блуждающих токов. Источниками блуждающих токов являются электрифицированные железные дороги, метрополитены, трамваи, электрические коммуникации и т.п. Опасность действия на трубопроводы токов от этих электрических источников заключается в том, что они, стекая с трубопровода, растворяют металл. Процесс этой коррозии с электрохимической точки зрения происходит по тому же механизму, что и почвенная коррозия. Так как величины блуждающих токов, как правило, гораздо больше величин токов, протекающих между гальваническими парами на поверхности металла, то эти токи подавляют их деятельность.

Основным процессом становится процесс коррозии, происходящий под действием блуждающих токов. При этом не наблюдается заметного торможения растворения металла на анодных участках из-за диффузии продуктов коррозии от поверхности металла под действием внешнего электрического поля и более рыхлой структуры продуктов коррозии.

Вследствие вышеуказанных факторов потери металла при коррозии, вызванной блуждающими токами, на один-два порядка превышают потери металла от почвенной коррозии. Это может привести к сквозному повреждению трубопроводов через несколько месяцев их эксплуатации.

Одним из основных мероприятий, который позволит подавить процесс коррозии, вызванной блуждающими токами, на существующих тепловых сетях, является электрохимическая защита подземных трубопроводов. Следует отметить, что в хорошо изолированных трубопроводах блуждающие токи уменьшаются в сотни и более раз.

Периодическое подтапливание тепловой изоляции приводит к ускоренному коррозионному воздействию на трубопровод, расположенный вблизи оживленной магистрали. Подсыпка соли против гололеда и периодическое подтапливание грунтовыми водами приводит к появлению большого количества свищей.

На рис. 4 показана исследованная (средняя за 10 лет) повреждаемость тепловых сетей от внешней коррозии.

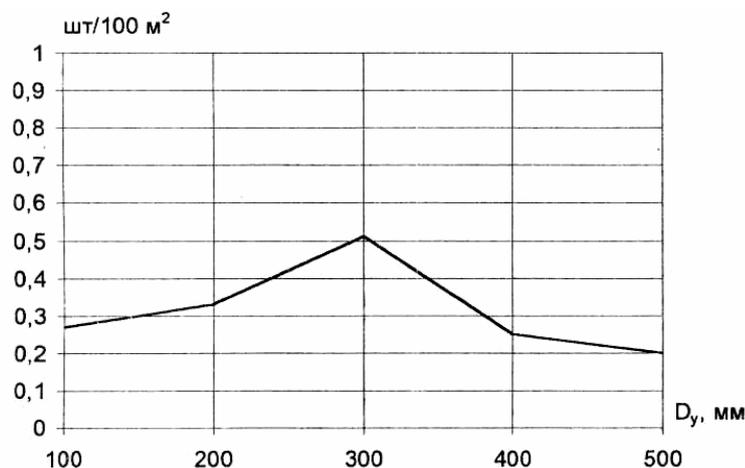


Рис. 4. Количество повреждений подающего трубопровода на площади 100 м²

Анализ причины появления внутренней коррозии

Внутренняя коррозия теплопроводов вызывается прежде всего наличием растворенных в воде газов (кислорода и углекислого газа). Газы в подпиточную воду могут попадать несколькими путями: при плохой работе деаэрационных установок, с подсосами охлаждающей воды в охладителях деаэрированной воды, через сальниковые уплотнения на всасывающей линии подпиточных насосов, при аэрации в аккумуляторных баках, с подсосами через домовую систему отопления и горячего водоснабжения.

В системах теплоснабжения с открытым горячим водоснабжением водяной объем обновляется в течение 5 суток; поэтому водоподготовка на котельных является одним из главных факторов, влияющих на срок службы трубопроводов тепловых сетей.

Качественная обработка воды на источниках тепла – необходимое условие снижения ремонтных затрат и повышения надежности систем теплоснабжения. Как правило, водоподготовка включает в себя умягчение, деаэрацию и последующий контроль качества воды на источнике теплоснабжения. Последняя операция играет решающую роль при оценке эффективности всего процесса.

По данным технических публикаций и нашего опыта эксплуатации вакуумных деаэраторов, в системах отопления с открытым горячим водоснабжением имеются большие сложности в обеспечении нормативного содержания кислорода в подпиточной воде, поступающей в тепловую сеть от ТЭЦ и крупных котельных энергетических предприятий. Учитывая турбулентный характер движения теплоносителя внутри трубопровода, можно предположить, что растворенные газы, попадая на внутреннюю поверхность трубопроводов, увеличивают интенсивность коррозии металла труб изнутри.

На рис. 5 показана статистика повреждаемости тепловых сетей, вызванной внутренней коррозией (по данным ОАО «Самараэнерго»).

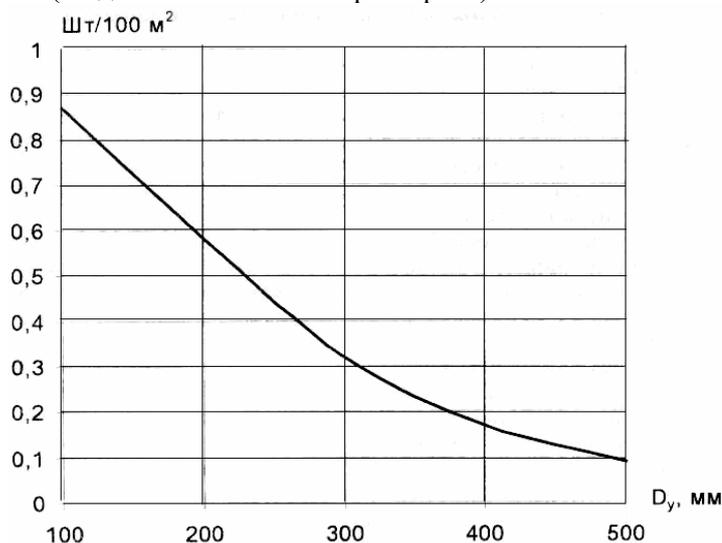


Рис. 5. Количество повреждений трубопроводов от внешней коррозии

Как видно из рис. 5, количество повреждений уменьшается с увеличением диаметра трубопровода. Это, по-видимому, можно объяснить изменением гидродинамики движения теплоносителя в зависимости от диаметра трубы.

Внутренняя коррозия приводит не только к уменьшению толщины стенки трубопроводов, но и к образованию на них железистых отложений, которые увеличивают гидравлическое сопротивление трубопроводов, из-за чего повышается давление в подающем трубопроводе, чтобы поддержать необходимый гидравлический режим в системе теплоснабжения. В результате повышенного давления в трубопроводах надежность системы снижается.

Надежность тепловых сетей

Причинами снижения надежности системы теплоснабжения являются внезапные отказы, заключающиеся в нарушении работы оборудования и отражающиеся на теплоснабжении потребителей.

Отказы, как правило, возникают, если перегрузки (или стандартные нагрузки) испытывает слабое звено всей системы. Этот процесс является случайным; поэтому к нему применяют закон Пуассона. Если представить графически изменение нагрузки $N(S)$ и изменение прочности системы $P(S)$ (или ее элемента), то их совпадение, в теории надежности называемое «треугольником отказов», приводит к отказу работы системы (рис. 6).

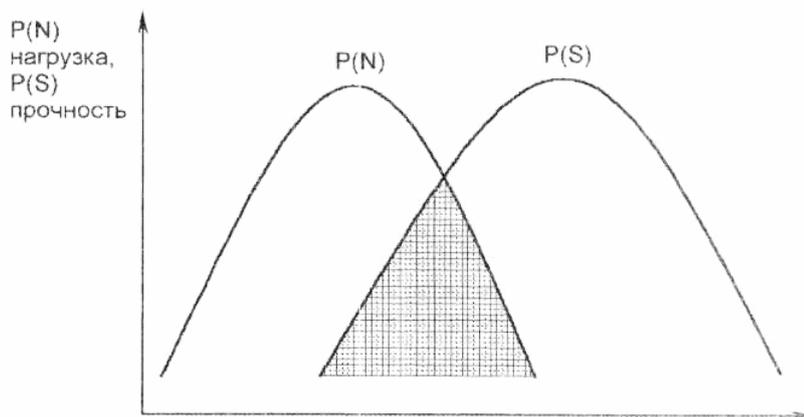


Рис. 6. Треугольник отказов

Исследование надежности мы проводили на основе статистических данных работы тепловой сети г. Самары за многолетний период.

Динамика роста повреждаемости элементов теплосети в зависимости от проработанного времени показывает, что особенно интенсивное увеличение числа отказов наблюдается за последние 8–10 лет. Основной процент повреждений теплосети выявляется в процессе гидравлических испытаний в подготовительный период. Но если в предыдущие годы на повреждения во время эксплуатации приходилось 2–8 % всех повреждений, то в 1990–2001 гг. отказы во время эксплуатации теплосети составляли уже 20–30 %.

Увеличение числа повреждений в последние годы связано со «старением» элементов тепловых сетей, а также недостаточной интенсивностью замены отработанных элементов тепловой сети на новые. Этими факторами, по-видимому, объясняется нарастание количества повреждений в тепловых сетях во время эксплуатации в отопительный период.

В настоящее время наиболее эффективным методом повышения надежности системы теплоснабжения следует считать отбраковку в летний период ослабленных коррозией участков теплосети, которая производится путем гидравлического испытания отдельных участков трубопроводов при повышенном давлении.

Исследования динамики удельных повреждений городских тепловых сетей за рассматриваемый промежуток времени (см. рис. 5) позволяют сделать выводы о том, что количество отказов на каждый километр теплопроводов за последние годы резко возросло (при незначительном росте протяженности теплопроводов за этот период времени), т.е. надежность городских тепловых сетей снизилась.

Если сравнить статистические данные (рис. 7) повреждений по районам городской теплосети, то необходимо заметить, что теплопроводы, введенные в последнее время в эксплуатацию, имеют довольно низкую повреждаемость (линии II, IV и V) – 0,2–1,2 на 1 км теплопровода. Все повреждения выявлялись в процессе испытаний трубопроводов, а не в эксплуатационный период.

Число повреждений в теплосетях старой части города достигает величины 2,9–3,3 линии I и II 1/км, причем число повреждений в период эксплуатации достигает от трети до половины всех удельных повреждений теплосети этого района.

На основании этих данных можно сделать вывод о явном старении трубопроводов тепловых сетей за длительный срок эксплуатации и, как следствие, о неизбежном снижении надежности городских тепловых сетей.

В последние годы (1998–2002) удельная повреждаемость трубопроводов немного снизилась (рис. 8), что объясняется увеличением финансирования на капитальный ремонт и перекладку сетей.

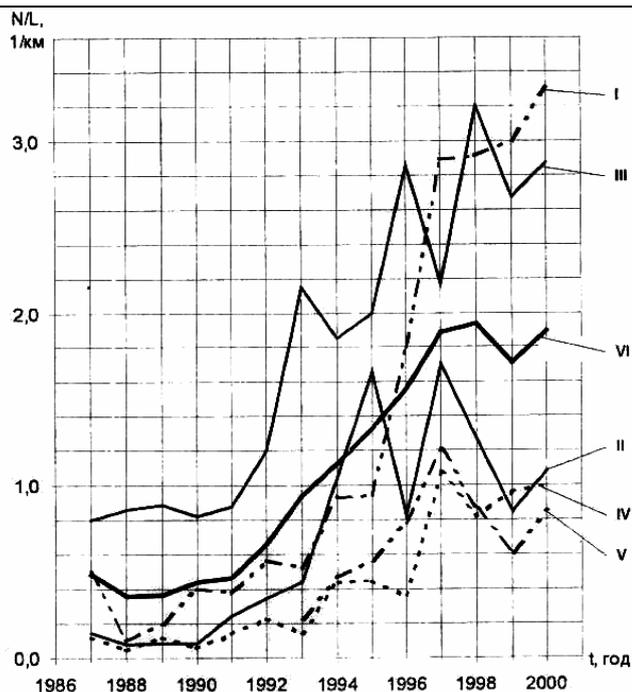


Рис. 7. Динамика удельных повреждений тепловой сети г. Самары по районам (I-V) и теплосети в целом (VI)

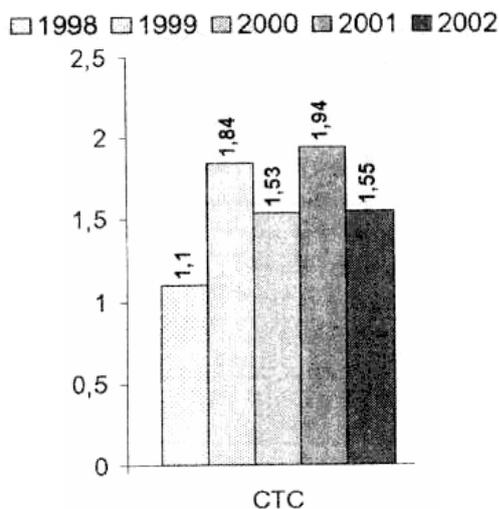


Рис. 8. Удельная повреждаемость трубопроводов во время эксплуатации по годам (в пересчете на 1 км)

Абсолютное количество повреждений тепловых сетей по городу Самаре представлено в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Количество повреждений тепловых сетей

Наименование	Протяженность, км		Количество повреждений, шт.				
	Всего	В т.ч. более 25 лет	1998	1999	2000	2001	2002
СТС	315,95	63,15	348	582	483	612	490

Как видим, повреждаемость трубопроводов зависит в основном от внешней и внутренней коррозии, что уменьшает срок эксплуатации тепловой сети.

На рис. 9 показано изменение повреждаемости тепловых сетей в зависимости от старения трубопроводов, т.е. сроков эксплуатации.

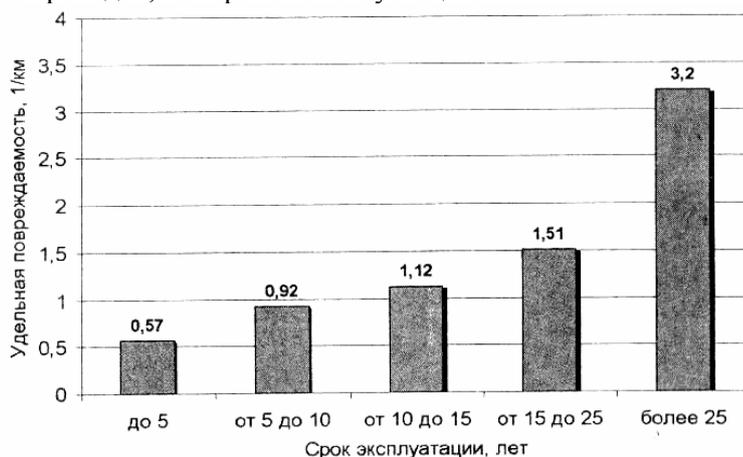


Рис. 9. Зависимость повреждаемости тепловых сетей от срока эксплуатации

Заключение

Проведен анализ существующего состояния тепловых сетей. Показано, что только комплексный подход к рассмотрению работы систем теплоснабжения, включающих в себя источники тепла, его транспорт и потребителя, может гарантировать их надежную работу и экологическую безопасность.

Список литературы

1. Полонский, В.М. Автономное теплоснабжение [Текст]: моногр. / В.М. Полонский, Г.И. Титов, А.В. Полонский. – Самара, 2003-2004.
2. Титов, Г.И. Анализ причин отказов тепловых сетей [Текст] / Г.И. Титов, В.М. Полонский // Вестн. МАНЭБ. – СПб., 2003. – №3.
3. Титов, Г.И. О создании математической модели удельной повреждаемости тепловых сетей [Текст] / Г.И. Титов // Вестн. МАНЭБ. – СПб., 2003. – №3.
4. Полонский, В.М. Оценка надежности тепловых сетей [Текст] / В.М. Полонский, Г.И. Титов // Сб. тез. 61-й науч.-техн. конф. – Самара: СамаГАСА, 2004.

References

1. Polonsky V.M., Titov G.I., Polonsky A.V. Independent heating: monografay. – Samara, 2003–2004.
2. Titov G.I., Polonsky V.M. Failure Analysis of thermal networks // Vestnek (IAELPS). – StPb, 2003. – №3.
3. Titov G.I. On creation of a mathematical model of the specific damageability heat networks // Vestnek (IAELPS). – StPb, 2003. – №3.
4. Polonsky V.M., Titov G.I. Evaluation of reliability of heat networks // Collected Abstracts 61st Scientific Conference. – Samara: Samagasa, 2004.

УДК 621.928.21

Самарский государственный
архитектурно-строительный университета
Россия, 443001, г. Самара,
ул. Молодогвардейская, 194

Хурин Иван Александрович,
ассистент кафедры «Теплогазоснабжение и
вентиляция»

Тюрин Николай Павлович,
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Теплогазоснабжение и
вентиляция»
Тел.: 3378103, 3378089

Samara State Architecturally Building
University

Russia, 443001, Samara, 194,
Molodogvardeyskaya St.

Hurin Ivan Aleksandrovich,
Assistant of the department «Heating, gas
supply and ventilation»

Tyurin Nikolay Pavlovich,
Candidate of sciences, Associate Professor,
Head of the department «Heating, Gas supply
and ventilation»
Tel.: 3378103, 3378089

ОЧИСТКА ПЕЧНЫХ ГАЗОВ ПРИ ПЛАВКЕ АЛЮМИНИЕВОГО ЛОМА

И.А. Хурин, Н.П. Тюрин

Рассмотрена техника улавливания малых частиц аппаратами вихревого пылеулавливания в плавильных производствах. Даны теоретические оценки скорости турбулентного осаждения частиц при движении аэрозоля в трубах.

Ключевые слова: вихревой пылеуловитель, техника улавливания аэрозоля, турбулентное осаждение, эффективность.

CLEARING OF OVEN GASES AT ALUMINIUM BREAKAGE MELTING

I.A. Hurin, N.P. Tyurin

The technology of small particles catching by vortical dusters in melting industry is considered. Theoretical estimations of particles turbulent sedimentation speed at aerosol movement in pipes are given.

Keywords: vortical duster, technician of catching aerosol, turbulent sedimentation, efficiency.

Большинство технологических процессов сопровождается выделением вредных веществ, в том числе аэрозоля с твердыми или жидкими дисперсными фазами. По размеру и составу этот аэрозоль чаще всего полидисперсен, причем значительная доля частиц относится к субмикронной области.

Мельчайшие частицы его постоянно присутствуют в воздухе, перемешиваясь хаотически в основном за счет турбулентной структуры воздушных потоков, и представляют опасность как для здоровья человека, так и для высокоточных механизмов. Поэтому правильное применение средств техники обеспыливания приобретает особое значение в современных условиях растущего загрязнения атмосферного воздуха.

Выделение аэрозоля наблюдается практически при любой плавке металла. В частности, в данной работе рассматриваются результаты исследований по очистке технологических выбросов от роторной плавильной печи, в которой переплавляются алюминиевый лом, переработанные алюминиевые шлаки и его промышленные отходы. Кроме исходного сырья добавляются флюсы, масса которых составляет примерно 25 % от полной загрузки печи.

Технологические газы в виде аэрозоля отсасываются вентилятором, установленным в конце газоочистки, перед дымовой трубой. Газы сначала охлаждаются в воздушном рекуператоре от $t=600$ °С до 100...120 °С, затем поступают в матерчатый фильтр, в котором ткань рукавов на металлическом сетчатом каркасе периодически продувается обратным током сжатого воздуха. Выброс охлажденных и очищенных газов осуществляется через металлическую дымовую трубу.

Опыты показали, что печные газы представляют собой окись алюминия в виде полидисперсного аэрозоля конденсации с размерами частиц до $d_n=10$ мкм, т.е.

относятся к категории тонкодисперсных, близких по своей структуре к атмосферной пыли и дымам мартеновских печей [1]. Однако от них они отличаются довольно значительной степенью коагуляции, а также способностью к смачиванию водой в связи с наличием в них шламовых фракций.

Согласно анализам концентрация аэрозоля после рекуператора достигает $C=12 \text{ г/м}^3$ и даже больше. Способность его к коагуляции при такой концентрации неблагоприятно влияет на теплотехнические и эксплуатационные качества рекуператора.

С целью защиты стенок от наслоения аэрозоля или его выпадения предусмотрена автоматическая дробеструйная очистка воздухом специальной воздухопродувкой.

Конструктивно рекуператор выполнен в виде прямоточного пучка труб, омываемых снаружи охлажденным воздухом, ламинарный подслои которого в пограничном слое обладает теплоизолирующим свойством [2]. В силу этого для обеспечения охлаждения газа площадь расчётной поверхности теплообмена рекуператора значительно увеличена и достигает нескольких сотен квадратных метров, что делает его громоздким и дорогостоящим.

В случае непредвиденного повышения температуры газа перед матерчатый фильтр, после рекуперации, процесс его охлаждения осуществляется автоматически подмешиванием атмосферного воздуха. Эта постоянная необходимость стабилизации температуры газа нарушает процесс его очистки. Следует отметить ещё один существенный фактор – вся технологическая цепочка: плавильная печь, рекуператор, матерчатый фильтр, согласно классическому проекту и фактически, располагается в закрытом помещении, которое по этим причинам требует затрат на обеспечение санитарно-гигиенических норм воздушной среды в рабочей зоне.

Всё изложенное позволяет сделать вывод о чрезвычайно сложной и громоздкой системе очистки дымовых газов печи переплавки алюминиевых отходов. Частицы аэрозоля имеют достаточно высокую плотность (до $\rho_c=2,7 \text{ г/см}^3$) и обладают значительным инерционным потенциалом, реализовать который в матерчатом фильтре невозможно.

Из инерционных очистных аппаратов самым дешёвым и надёжным в эксплуатации является циклон. Он конструктивно прост и имеет большую пропускную способность. Эти качества становятся определяющими при выборе очистки с санитарно-гигиенической целью, которая всегда обременительна производству. Однако, применяя её, не следует забывать о качестве фракционной сепарации.

Степень очистки определяется, в основном, фактором экономическим. При улавливании ценной пыли этот вопрос решается обычно просто, но гораздо сложнее – при очистке санитарно-гигиенической, хотя именно в этом случае требуется очистка не менее глубокая с целью защиты здоровья человека, а нередко и зданий и высокоточных технологий, требующих СКВ.

Техника улавливания частиц малых размеров – проблема многогранная, дорогостоящая и характеризуется большим разнообразием способов и конструктивных решений. Мы остановимся только на одном, наиболее привлекательном применительно к рассматриваемому вопросу, – на аппаратах вихревого пылеулавливания ВПУ, которые отличаются от циклонов лишь способом подвода очищаемого газа. Сравнение ВПУ с циклонами показывает преимущество первых как в отношении сепарации аэрозоля, так и в отношении удельного расхода энергии в одинаковых условиях.

Теоретически и опытным путём доказано [3], что граничный размер частиц d_{op} для ВПУ на 40 % меньше, чем у циклонов, а величина проскока в 2-3 раза ниже. На рис. 1 приведена фракционная эффективность сепарации ВПУ при $\eta_{общ} = 99,3 \%$ [3]. Циклоны НИИОГАЗ III класса [1] при $\eta_{общ} = 92-99,9 \%$ могут задерживать только частицы размером больше 8 мкм.

Достоинство ВПУ перед циклонами, кроме исключительно высокого для устройств центробежного действия эффекта сепарации тончайшей сухой пыли, является ещё возможность очистки горячих (до $700 \text{ }^\circ\text{C}$) газов, отсутствие абразивного износа при любой запылённости газа, а также возможность регулирования процесса сепарации пыли за счёт изменения количества вторичного воздуха.

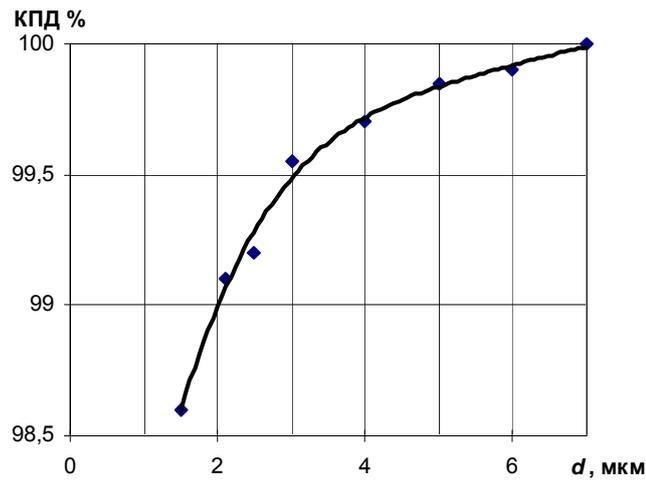


Рис.1. Фракционная эффективность сепарации ВПУ

К основным недостаткам ВПУ, преимущественно конструктивного характера, следует отнести, во-первых, наличие дополнительного дутьевого устройства и несколько большая сложность устройства и эксплуатации аппарата.

Кроме того, из-за сложности аэродинамики процесса сепарации до сих пор не разработана строгая теоретическая база для расчёта ВПУ. Это относится и к экспериментальному моделированию

Несмотря на высокую эффективность ВПУ, в практике их применения возникают проблемы по некоторому снижению эффективности сепарации в связи с образованием паразитарных вихрей и шнуров, уносящих пылевые фракции в приосевую зону очищенного газа, снижая тем самым эффективность очистки. Об этом говорил ещё Клейн Н. в своих более поздних работах [4].

Характерными местами таких вихреобразований являются области впуска в камеру сепарации первичного запылённого газа и удаления из неё очищенного.

При конструировании ВПУ решение этого вопроса стало первостепенным. Было предложено много вариантов изменения ВПУ в области ввода первичного газа. Все разработки, в основном, сводились к изменению положения отбойных шайб, однако эти мероприятия не привели к желаемому результату.

Анализируя все существующие разработки в этом направлении, мы пришли к выводу, что в данном вопросе можно ожидать повышения эффективности пылеулавливания только после стабилизации поля скоростей в потоке первичного газа, поскольку вихреобразование по природе своего происхождения связано с искажением поля скоростей в подводящем патрубке [4].

Однако улучшение аэродинамики поля скоростей в области ввода первичного газа никак не повлияло на картину формирования вихрей в верхней зоне камеры сепарации.

Известно, что вихревые течения возникают при появлении градиента скорости в местах обтекания поверхностей, сопряжённых в одной плоскости, например при срыве потока при входе его в канал и других аналогичных явлениях, т.е., по сути дела, на границе неудобообтекаемых тел.

В данном случае такими местами являются угловые сопряжения верхней плоскости камеры с её цилиндрической стенкой и на входе в патрубок очищенного газа. Очевидно, если указанные элементы сопрягать не под углом 90° , а через удобообтекаемые плоскости, выполненные по профилю лемнискаты или хотя бы по радиусу цилиндра, причин образования вихрей в этой области будет значительно меньше. С целью проверки этих предположений нами был конструктивно разработан ВПУ с удобообтекаемым контуром [5].

Другой причиной возникновения вихрей в зоне ввода вторичного газа является его радиальный подвод к розетке, что нарушает плавность слияния двух циклонизирующих потоков. Для создания благоприятных условий их слияния необходимо стабилизировать статическое давление и, следовательно, поля скоростей перед завихрителем. Эту

проблему мы решили, заменив радиальный подвод вторичного газа раздачей его через канал равного статического давления по всему верхнему контуру лопаточного завихрителя [6]. Был также разработан ещё один вариант стабилизации поля скоростей вторичного потока путём подвода его через тангенциальные насадки в виде короба равномерной раздачи вместо розетки [7].

На основе разработанной конструкции был изготовлен опытно промышленный образец ВПУ, основой которого послужил аппарат с каналом равномерного статического давления [6] с внесением в него всех элементов конструкции в соответствии с работами [4] и [5].

Его основные технические характеристики:

диаметр сепарационной камеры	– 200 мм
производительность по запылённому газу	– 300 м ³ /ч
расход вторичного атмосферного воздуха	– 150 м ³ /ч

Исследовательские работы по эффективности этого ВПУ проводились на заводе по переплавке алюминиевых отходов. Аппарат был включён параллельно матерчатому фильтру.

В опытах отбирались пробы для оценки концентрации аэрозоля на входе и выходе аппарата, а также – после матерчатого фильтра. Отбор производился по обычной методике с использованием пылезаборных трубок и аллонжей. Одновременно измерялось гидравлическое сопротивление ВПУ с помощью дифференциального U-образного манометра.

Как показали анализы проб, концентрация аэрозоля после рекуператора и фильтра колеблется во времени в очень широком диапазоне. Объяснить это расхождение, порой на порядок, можно колебаниями концентраций из-за нестабильности технологического процесса, неустойчивой работой рекуператора и нестабильностью процесса очистки газов матерчатым фильтром, связанной с продувкой его рукавов, после которой увеличивается проскок частиц через ткань. В результате эффективность фильтра, по статистическим данным, составила $\eta=99-97,5\%$.

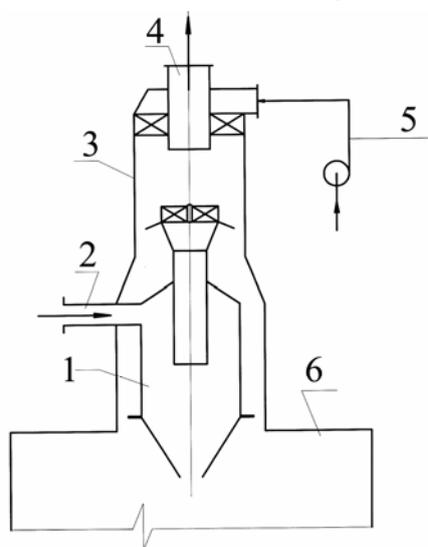


Рис. 2. Схема вихревого пылеуловителя

Сопротивление всей системы газоочистки в проекте и фактически оценивается примерно в $4 \cdot 10^3$ Па.

Явление нестабильности отмечается и в опыте с вихревым пылеуловителем, но проявляется оно в меньшей степени. Так, при концентрации аэрозоля в первичном газе изменения наблюдались в диапазоне от 10,8 до 12,2 г/м³, а после аппарата, соответственно, 0,120–0,244 г/м³, что соответствует степени очистки 99–98 %, вполне сопоставимой с очисткой в матерчатых фильтрах.

Аэродинамическое сопротивление ВПУ составило примерно $2 \cdot 10^3$ Па.

По результатам опытов заводу было предложено отказаться от существующей схемы очистки печных газов, т.е. от их рекуперации и использования матерчатых фильтров. Вместо этого перейти на их очистку сразу же после печи, в вихревом пылеуловителе, схема которого представлена рис. 2.

В данном устройстве первичный поток запыленных газов 5 подается через закручиватели в корпус циклона 3, а вторичный поток через патрубок 2 – в сепарационную камеру 1, откуда через закручиватели поступает в корпус циклона. Сам вихреуловитель монтируется на бункере 6.

Теперь рассмотрим возможность оценки степени осаждения частиц аэрозоля в процессе его транспортировки.

Ориентировочные расчёты теплообмена по ходу транспорта газа и его смешения с холодным (вторичным) воздухом, показали, что температура этой смеси не превышает 200 °С [2]. Известно, что при движении аэрозоля в трубах, частицы его оседают на

стенках, при этом его концентрация в газе по ходу его течения уменьшается по закону экспоненты. Интенсивность выпадения оценивается скоростью турбулентного осаждения V , зная которую можно рассчитать количество частиц, осевших на стенках трубы.

Поскольку аналитического решения этой задачи не существует, в инженерной практике чаще всего пользуются полуэмпирическими формулами для вычисления V , которых достаточно много, но все они представлены в виде квадратичной зависимости от безразмерного времени релаксации частицы аэрозоля – τ_i .

В данном случае были применены два вида зависимости. Одна из них – формула Маккея и Хенретти [8], в которой, по сути, обобщены данные многих исследователей, основанные на собственных теоретических предположениях и экспериментах. Сюда можно отнести работы Фридендера и Джанстоуна, Земмеля, Оуэна и др.

$$V_i = A \cdot 10^{-4} \tau_i^2,$$

где

$$\tau_i = \tau u_1^2 / \nu;$$

$$\tau = \frac{1}{18} \times \frac{\rho_q}{\eta} d_q^2;$$

$$u_1 = u_m \sqrt{\frac{\lambda}{8}};$$

A – постоянная; V_i – безразмерная скорость турбулентного осаждения аэрозоля в вертикальных трубах; τ – время релаксации высоко- и тонкодисперсных частиц; u_1 – динамическая скорость газа; u_m – средняя скорость потока; ρ_q и d_q – соответственно плотность и диаметр частиц; ν и η – соответственно кинематическая и динамическая вязкость газа; λ – коэффициент сопротивления трения.

При расчёте по формуле (1) величины V_i на неё вводилась поправка по графику рис. 3.

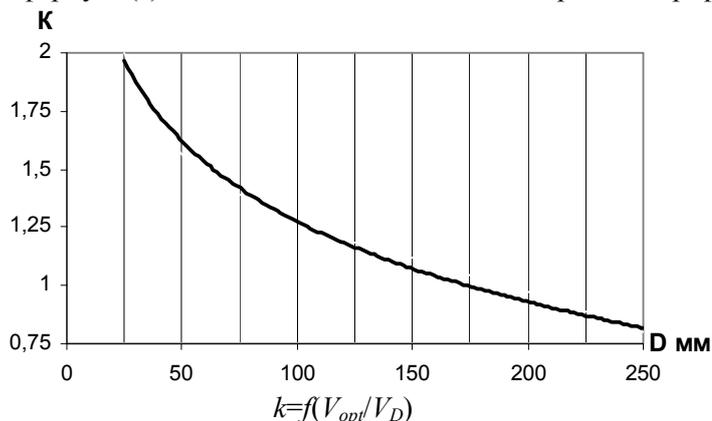


Рис. 3. К расчёту величины V_i

В основу другой зависимости положены основы конечномасштабной версии моногармонической теории турбулентной миграции частиц [9] результаты расчёта по которой дают наилучшую сходимость с опытными данными:

$$V_i = A_1 \cdot \left(\frac{\tau_i}{1 + \omega_E \cdot \tau} \right)^2. \quad (1)$$

Здесь τ_i, τ, u_1 соответственно по (2), (3), (4);

$$\omega_E = \frac{u_1}{0,2 \cdot R} \text{ – частота энергоёмких пульсаций газа;} \quad (2)$$

R – радиус трубы.

Скорость турбулентного осаждения частиц V в обоих случаях определяется по зависимости

$$V = V_i \cdot u_1. \quad (2)$$

При расчёте величины V эффективность сепарации ВПУ принята несколько меньше опытных данных, так как малогабаритный опытный образец более эффективен, чем аппарат больших размеров, как и в случае с циклонами. Учитывая высокую фракционную эффективность сепарации ВПУ, расчёты по осаждению велись только для тонкодисперсных частиц.

Исходные данные для расчёта величины V :

высота трубы $H=30$ м; диаметр – 0,2 м; температура газа $T \approx 200$ °С; эффективность сепарации ВПУ – 97 %; начальная концентрация аэрозоля в основании трубы $C_n=0,366$ г/м³; плотность и диаметр частиц, соответственно $\rho_c=2,7$ г/см³ и $d_c=3-6$ мкм; коэффициент сопротивления трения – $\lambda=0,01$; средняя скорость газа $U_m=15$ М/с; постоянные A и A_1 , соответственно $3,25 \cdot 10^{-4}$ и $7,25 \cdot 10^{-4}$.

Результаты расчёта по формуле (5) ($V_{cp}=0,008$ см/с), оказались несколько выше, чем по формуле (1) ($V_{cp}=0,007$ см/с).

Следует отметить, что некоторое снижение температуры газа по ходу течения в трубе за счёт тепловых потерь через стенку слабо влияет на вязкостные свойства газа, но охлаждение стенки весьма значительно увеличивает миграционный процесс осаждения частиц.

Определение общего количества частиц, осаждающихся на стенке трубы турбулентным путём, проведено по зависимости [10]:

$$\frac{C_k}{C_n} = \exp \left[-\frac{4H}{D} \cdot \frac{V}{U_m} \right], \quad (3)$$

где C_k – конечная концентрация аэрозоля на выходе из трубы.

Левая часть уравнения представляет собой величину проскока частиц, который согласно расчёту равен $\Pi=0,7$. Это означает, что 30 % частиц аэрозоля осела на стенке трубы, с которой они могут периодически, в разных местах сдуваться потоком газа, но уже в виде скоагулированных, более крупных фракций.

Очевидно, такое явление следует учитывать при расчёте рассеивания выбросов. Поскольку допустимая начальная концентрация аэрозоля при сепарации в ВПУ может достигать $C_n=200$ г/м³, затронутый вопрос может быть весьма актуален.

Список литературы

1. Пирумов, А.И. Обеспыливание воздуха [Текст] / А.И. Пирумов. – М. Стройиздат, 1981.
2. Исаченко, В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1965.
3. Klein H., Schmidt P. Verfahrenstechnik. – 1971. – 5. – №8.
4. Вихревой пылеуловитель [Текст]: пат. 2096070 Рос. Федерации: С1 / В.Б. Жильников, В.М. Полонский, А.Е. Щибраев, Е.В. Щибраев; заявл. 26.07.95; опубл. 20.11.97, Бюлл. № 32.
5. Вихревой уловитель пыли [Текст]: пат. 2183497 Рос. Федерации: С2 / Е.В. Щибраев, А.Е. Щибраев, Н.П. Тюрин, И.А. Хурин, Д.Н. Ватузов, С.В. Дежуров; заявл. 20.03.2000; опубл. 20.06.2002, Бюлл. №17.
6. Сепарационный вихревой пылеуловитель [Текст]: пат. 2183496 Рос. Федерации: С2 / Е.В. Щибраев, А.Е. Щибраев, Н.П. Тюрин, И.А. Хурин, Д.Н. Ватузов, С.В. Дежуров; заявл. 20.03.2000; опубл. 20.06.2002, Бюлл. № 17.
7. Вихревой пылеуловитель [Текст]: пат. 2183495 Рос. Федерации: С2 / Е.В. Щибраев, А.Е. Щибраев, Н.П. Тюрин, И.А. Хурин, Д.Н. Ватузов, С.В. Дежуров; заявл. 20.03.2000; опубл. 20.06.2002, Бюлл. №17.
8. Mccoy D.D., Hanratty T.O/ Rate of deposition of annular twophase flow. – Intern. J. Multiphase Flow, 1977, 3, №4, p.319–331.
9. Медников, Е.П. Турбулентная миграция и оседание аэрозоля [Текст] / Е.П. Медников // Коллоидный журнал. – 1980. – Т.42. – №6. – С. 700–705
10. Щибраев, А.Е. Основные принципы расчёта аппаратов очистки от аэрозоля [Текст] / А.Е. Щибраев, В.М. Полонский, Н.П. Тюрин // Окружающая природная среда и экологическое образование: сборник материалов всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2001.

УДК 628.34.065.2:631.227

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Андреев Сергей Юрьевич,

доктор технических наук, профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение»

Гришин Борис Михайлович,

доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Водоснабжение и водоотведение»

Тел.: 92-95-08 (11-88)

E-mail: bgrishin@rambler.ru

Демидочкин Виталий Васильевич,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидротехническое строительство»

Тел.: 92-95-08 (11-63)

Шистеров Александр Сергеевич,

аспирант кафедры «Гидротехническое строительство»

Тел.: 92-95-08 (11-63)

Кусакина Светлана Юрьевна,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение»

Тел.: 92-95-08 (11-88)

Малютина Татьяна Викторовна,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение»

Тел.: 92-95-08 (11-88)

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Andreev Sergey Yuryevich,

Doctor of Sciences, Professor of the department «Water supply and sewerage»

Grishin Boris Mikhailovich,

Doctor of Sciences, Professor of the department «Water supply and sewerage»

Tel.: 92-95-08 (11-88)

E-mail: bgrishin@rambler.ru

Demidochkin Vitaly Vasilyevich,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Hydraulic engineering construction»

Tel.: 92-95-08 (11-63)

Shisterov Aleksandr Sergeevich,

Postgraduate of the department «Hydraulic engineering construction»

Tel.: 92-95-08 (11-63)

Kusakina Svetlana Aleksandrovna,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Water supply and sewerage»

Tel.: 92-95-08 (11-88)

Malyutina Tatyana Viktorovna,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Water supply and sewerage»

Tel.: 92-95-08 (11-88)

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПТИЦЕФАБРИКИ

С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, В.В. Демидочкин, А.С. Шистеров,
С.А. Кусакина, Т.В. Малютина

Приведены результаты промышленного внедрения новой технологии реагентной очистки сточных вод птицефабрики, предусматривающей сочетание методов концентрированного и фракционного коагулирования. Предложенная технология позволила существенно повысить эффект очистки сточных вод в процессе их отстаивания.

Ключевые слова: сточные воды, реагентная очистка, коагуляция, флокуляция, отстаивание, естественная биологическая очистка.

EXPERIENCE OF APPLICATION THE TECHNOLOGY OF PRELIMINARY COAGULATION TREATMENT OF POULTRY PLANT WASTE WATER

S.Y. Andreev, B.M. Grishin, V.V. Demidochkin, A.S. Shisterov,
S.A. Kusakina, T.V. Malyutina

The authors present the results of poultry plant waste water reagent purification using new technology, which combine methods of concentration and factional coagulation. This technology allows to essentially rise the effect of waste water purification at settling.

Keywords: waste water, reagent purification, coagulation, flocculation, settling, natural biological purification.

Сточные воды птицефабрик относятся к категории высококонцентрированных по органическим загрязнениям. Содержащиеся в них примеси находятся, в основном, в виде трудноокисляемых суспензий, эмульсий, коллоидных и молекулярных растворов. Основными специфическими загрязнителями сточных вод убойных цехов птицефабрик являются жир, кровь, перья, остатки кормов, помет, дающие высокие показатели химического потребления кислорода (ХПК). Показатель ХПК в сточных водах, отводимых с территории птицефабрики «Васильевская» Пензенской области, колеблется в пределах 4000-10000 мг/л, концентрация жиров 1000-5000 мг/л.

Теоретический анализ

Сточные воды птицефабрик, как правило, проходят каскад сооружений естественной биологической очистки и сбрасываются в открытый водоем.

В качестве сооружений естественной очистки используются пруды-отстойники, пруды-накопители, водорослевые пруды, рачковые пруды, биоплаты. Пруды с естественной аэрацией характеризуются низкими скоростями процесса биологической очистки сточных вод. Частично это объясняется неудовлетворительно организованной структурой потока в них. Значительная площадь прудов, малая глубина, ветровые течения создают непроточные зоны, местами – повышенную струйность потока. Все эти факторы уменьшают продолжительность пребывания сточных вод в прудах, а это, в свою очередь, снижает эффект очистки. Скорость биохимического процесса изъятия и окисления органических загрязнений в прудах с естественной аэрацией лимитируется низкой интенсивностью атмосферной аэрации и процессов массообмена. Это обстоятельство имеет особое значение для трудноокисляемых загрязнений, к которым относятся жиры животного происхождения.

В соответствии с рекомендациями разработчиков технологии естественной биологической очистки, реализованной на канализационных сооружениях птицефабрики «Васильевская» Пензенской области, общая концентрация органических загрязнений в сточных водах, поступающих на очистку, не должна превышать 1000 мг/л.

Известно, что скорость биохимической деструкции микроорганизмами органических загрязнений, находящихся в форме взвешенных веществ, в четыре раза, а в форме коллоидных частиц – в два раза ниже, чем скорость окисления загрязнений, находящихся в форме истинных растворов [1, 2].

Органический субстрат, находящийся в форме дисперсных частиц, может усваиваться клетками микроорганизмов только после его ферментативного разложения вне клеток.

Выделение из сточных вод перед подачей их на биологическую очистку органических загрязнений, находящихся в форме диспергированных частиц, позволяет не только снизить нагрузку на биореактор, но и существенно повысить скорость биологического окисления.

Простейшим способом выделения из сточных вод предприятий мясной промышленности мелкодисперсных загрязнений является отстаивание. Эффект очистки сточных вод отстаиванием достигает по взвешенным веществам 75-78 %, по органическим загрязнениям (БПК_{полн}) – 58-70 %, по жирам – 30-60 %.

Предварительная коагуляционная обработка сточных вод может существенно повысить эффективность их очистки методом отстаивания [3]. Введение коагулянта приводит к нейтрализации заряда дисперсных частиц, нарушению агрегативной устойчивости дисперсной системы, слипанию дисперсных частиц, их сорбции на хлопьях коагулянта и выделению из жидкости.

Предлагаемая технологическая схема и обоснование её применения

С целью интенсификации работы канализационных очистных сооружений птицефабрики «Васильевская» сотрудниками кафедры «Водоснабжение и водоотведение» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства была разработана новая технология коагуляционной обработки сточных вод.

Реализация традиционных схем коагуляционной обработки сточных вод, предусматривающих ввод реагентов непосредственно перед отстойным сооружением (прудом-отстойником), в данном конкретном случае связана с решением серьезных инженерных проблем.

Поскольку пруды-отстойники находятся на значительном удалении (более 5 км) от территории предприятия, строительство реагентного хозяйства перед выходом из напорного канализационного коллектора требует значительных капитальных затрат в связи с необходимостью прокладки дорогостоящих инженерных сетей, имеющих большую протяженность.

Был принят более экономичный вариант, предусматривающий введение необходимых реагентов в напорный канализационный коллектор непосредственно на выходе из канализационной насосной станции, расположенной на территории предприятия. Режим коагуляционной и флокуляционной обработки сточных вод должен был обеспечить формирование устойчивых гетерогенных микрокомплексов, скоагулированных загрязнений, не разбивающихся при прохождении через протяженный канализационный коллектор и формирующих хорошо сфлокулированные хлопья при последующем отстаивании сточных вод на территории сооружений естественной биологической очистки.

С целью проведения предварительной дестабилизации коллоидных загрязнений, позволяющей обеспечить при последующем длительном перемешивании сточных вод в напорном канализационном коллекторе протекание процессов ортокинетической градиентной коагуляции, приводящих к формированию на выходе из коллектора хорошо оседающих хлопьев, было рекомендовано реализовать сочетание следующих технологических приемов:

- концентрированного коагулирования, заключающегося в перекачивании сточных вод (около 6 % от общего расхода) рециркуляционным насосом через трубчатый смеситель и дозировании в него коагулянта (жидкого сульфата алюминия с содержанием $Al_2O_3 - 7\%$) и флокулянта (катионитового сополимера полиакриламида К-280);

- фракционного коагулирования, предусматривающего последовательное введение с помощью рециркуляционных насосов в напорный канализационный коллектор сточных вод, содержащих сформированные гетерогенные коагулирующие комплексы, выступающие в роли центров хлопьеобразования и коагулянта (сульфата алюминия), обеспечивающего окончательную дестабилизацию коллоидных частиц сточных вод.

При коагулировании примесей сточных вод необходимо быстрое и равномерное распределение реагентов в объеме для обеспечения максимального контакта частиц примесей с промежуточными продуктами гидролиза коагулянта (которые существуют в течение короткого промежутка времени), так как процессы гидролиза, полимеризации и адсорбции протекают в течение нескольких секунд. Перикинетическая (молекулярно-кинетическая) коагуляция заканчивается, когда частицы достигают размеров 1-10 мкм, что практически совпадает с периодом их быстрого распределения в обрабатываемых сточных водах. Неэффективное смешение приводит к перерасходу коагулянта и малой скорости агломерации примесей сточных вод при данной дозе реагента. При оптимальном режиме работы смесителя коагулянт вступает в соприкосновение с максимальным числом дисперсных частиц до того, как заканчивается реакция гидролиза и полимеризация. Для характеристики интенсивности смешения используется критерий Кэмпса

$$Ca = G \cdot T, \quad (1)$$

где T (с) – продолжительность перемешивания сточных вод с реагентами; G (c^{-1}) – градиент скорости пульсаций потока жидкости, определяемый по формуле

$$G = \sqrt{\frac{\Delta A}{T \cdot M \cdot v}}, \quad (2)$$

здесь ΔA – работа, затрачиваемая на смешение, Дж; M – масса жидкости в смесителе, кг; v – кинематический коэффициент вязкости жидкости, m^2/c .

С учетом соотношений для трубчатого смесителя

$$\Delta A = \omega \cdot \Delta P \cdot l;$$

$$M = \omega \cdot l \cdot \rho; \mu = \nu \cdot \rho, \quad (3)$$

где l и ω – соответственно длина, м, и площадь поперечного сечения трубчатого смесителя, м²; ΔP – перепад давления в трубчатом смесителе, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³; μ – динамический коэффициент вязкости жидкости, Па·с.

Величина градиента скорости определяется в виде

$$G = \sqrt{\frac{\omega \cdot \Delta P \cdot l}{T \cdot \omega \cdot l \cdot \rho \cdot \nu}} = \sqrt{\frac{\Delta P}{T \cdot \rho \cdot \nu}} = \sqrt{\frac{\Delta P}{T \cdot \mu}}. \quad (4)$$

Трубчатый смеситель обеспечивает достаточно быстрое распределение коагулянта в обрабатываемых сточных водах, что позволяет использовать для дестабилизации дисперсных примесей чрезвычайно активные промежуточные продукты гидролиза коагулянта. При добавлении в сточные воды, предварительно обработанные коагулянтом, высокомолекулярных веществ (флокулянтов) происходит процесс полимеризации или флокуляции. Напомним, что флокуляцией называют процесс, протекающий без изменения электрических свойств дисперсных частиц, приводящий к образованию хлопьев, в которых дисперсные частицы связаны за счет химических сил мостиками из макромолекул полимеров. Длинные молекулярные цепочки вещества флокулянта способны взаимодействовать с поверхностью агломерированных в процессе коагуляции микрохлопьев, образуя при этом мостиковые связи от одной поверхности к другой, соединяя вместе отдельные микрохлопья в крупные агломераты.

Использование в качестве флокулянта сополимера полиакриламида К-280 – вещества с относительно небольшой молекулярной массой (менее 500 тысяч) и высокой плотностью заряда, позволяет получить устойчивые к механическому воздействию макрохлопья скоагулированных загрязнений, которые способны к дальнейшему укрупнению при снижении степени турбулентности потока.

При обработке части потока сточных вод (около 6 % от общего расхода) в трубчатом смесителе используется технологический прием концентрированного коагулирования, который заключается в дозировании всего необходимого количества коагулянта лишь в небольшой объем обрабатываемых сточных вод. После тщательного смешения с раствором коагулянта поток обрабатываемых сточных вод объединяют с основным потоком.

Концентрированное коагулирование имеет следующие преимущества:

1) распределение всего объема коагулянта только в части объема сточных вод создает условия для ускоренного хлопьеобразования;

2) после смешения с необработанными сточными водами микрохлопья, сформированные в условиях повышенной концентрации коагулянта, обладают высокой активностью и хорошо сорбируют содержащиеся в основном потоке сточных вод загрязнения.

Технологический эффект, достигаемый при фракционном коагулировании, почти всегда объясняется с кинетической точки зрения образованием в результате гидролиза первых порций коагулянта твердой фазы, выступающей в роли центров хлопьеобразования при гидролизе последующих порций коагулянта. Ввиду того, что скорость налипания мелких частиц на крупные может в несколько раз превышать скорость взаимной коагуляции мелких частиц, приём фракционирования позволяет существенно интенсифицировать процесс коагуляционной обработки сточных вод. Большое значение имеет и «омоложение» взвеси, полученной в результате гидролиза предшествующих порций коагулянта, т.е. процесс обновления ее активности в отношении поверхностных явлений – сорбции и адгезии.

Производственные испытания новой технологии

Для проведения производственных испытаний силами ОАО ПФ «Васильевская» в соответствии с нашими рекомендациями на канализационной насосной станции был смонтирован трубчатый смеситель, а также установлен рециркуляционный насос и насосы-дозаторы (рис. 1 и 2).



Рис.1. Общий вид трубчатого смесителя



Рис.2. Общий вид насосов-дозаторов

Часть сточных вод (6 % от общего расхода) забиралась из напорного канализационного коллектора повысительным рециркуляционным насосом, перекачивалась через семисекционный трубчатый смеситель и через смесительный узел возвращалась в канализационный коллектор. Перед входом в трубчатый смеситель насосом-дозатором подавался коагулянт (сульфат алюминия) с содержанием Al_2O_3 – 7 %. Доза

коагулянта по товарному продукту варьировалась в пределах от 100 до 400 мг/л. В четвертую секцию трубчатого смесителя насосом-дозатором подавался флокулянт (катионитовый сополимер полиакриламида К-280). Доза флокулянта по товарному продукту варьировалась от 2 до 20 мг/л. На расстоянии 10 метров от первого смешительного узла на напорном канализационном коллекторе общего потока сточных вод был смонтирован второй смешительный узел, в который насосом-дозатором подавался раствор сульфата алюминия. Время смешения реагентов с суммарной дозой 300-800 мг/л со сточными водами в коллекторе составляло около одного часа.

Часть расхода обработанных сточных вод на выходе из напорного канализационного коллектора подавалась в модельный отстойник. Продолжительность отстаивания в модельном отстойнике составляла 1,5 часа. Осветленные сточные воды отбирались на химический анализ.

Результаты

Производственные испытания коагуляционной обработки сточных вод птицефабрики «Васильевская» показали:

– подача в сточные воды в соответствии с предложенной технологией коагулянта (суммарной дозой 700 мг/л по товарному продукту) и флокулянта (дозой 4 мг/л по товарному продукту) позволяет получить на выходе из напорного канализационного коллектора обработанные сточные воды, в которых в процессе 30-минутного отстаивания формируются хорошо оседаемые хлопья скоагулированных загрязнений;

– в процессе отстаивания обработанных сточных вод, взятых на выходе из канализационного коллектора, концентрация жиров снижается в 27,7 раза (с 1773 мг/л до 64 мг/л), концентрация органических загрязнений (показатель ХПК) снижается в 8,9 раза (с 5600 мг/л до 640 мг/л);

– сточные воды после коагуляционной обработки и отстаивания можно направлять на сооружения естественной биологической очистки.

Список литературы

1. Андреев, С.Ю. Совершенствование механической и биологической очистки городских сточных вод с использованием гидродинамических устройств [Текст] / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин. – Пенза: ПГУАС, 2009.

2. Андреев, С.Ю. Высокоэффективные конструкции аэраторов пневматического типа для биологической очистки сточных вод [Текст] / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин. – Пенза: ПГУАС, 2009.

3. Гетманцев, С.В. Очистка промышленных сточных вод коагулянтами и флокулянтами [Текст] / С.В. Гетманцев, И.А. Нечаев. – М.: АСВ, 2008.

References

1. Andreev, S.Yu. Perfection of town water mechanical and biological purification with use of hydrodynamical apparatus [Text]/ S.Yu. Andreev, B.M.Grishin. – Penza: PSUAC, 2009.

2. Andreev, S.Yu. High efficient constructions of pneumatic aerators for biological waste water purification [Text]/ S.Yu. Andreev, B.M.Grishin. – Penza: PSUAC, 2009.

3. Getmantsev, S.V. Industrial waste water purification with coagulants and flocculants [Text]/ S.V.Getmantsev, I.A. Nechaev. – M.: ACHI, 2008.

УДК 662. 951.2

Тольяттинский государственный
университет

Россия, 445667, г. Тольятти,
ул. Белорусская, д. 14

Слесарев Денис Юрьевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Теплогасоснабжение
и вентиляция»
Тел.: 8(8482) 53-92-78.
E-mail: drive82@yandex.ru

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Кубис Вячеслав Александрович,
ст. преподаватель кафедры
«Теплогасоснабжение и вентиляция»
Тел.: 89273743045.
E-mail: slavik-kubis26@mail.ru

Togliatti State University

Russia, 440028, Togliatti, 14,
Belarusskay St.

Slesarev Denis Yuryevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Heating, Gas supply and
Ventilation».
Tel.: 8(8482) 53-92-78
E-mail: drive82@yandex.ru

Penza State University of Architecture
and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Kubis Vjacheslav Aleksandrovich,
Senior lecturer of the department «Heating,
Gas supply and Ventilation».
Tel.: 89273743045.
E-mail: slavik-kubis26@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЖИГАНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В ГОРЕЛКАХ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ «СВЕТЛОГО» ТИПА

Д.Ю. Слесарев, В.А. Кубис

Исследована работа газовых горелок инфракрасного излучения при коэффициентах избытка воздуха $\alpha = 1,0...2,0$. Установлено, что с увеличением коэффициента α излучательная способность горелок возрастает и достигает максимума при $\alpha = 1,3...1,5$, а затем снижается при всех исследованных давлениях газа (мощностях горелок). Впервые экспериментально показана возможность эффективного сжигания бедных газозвушных смесей над поверхностью керамического излучателя при минимальной эмиссии вредных веществ.

Ключевые слова: газовые горелки, инфракрасные излучатели, коэффициент избытка воздуха, керамические излучатели.

IMPROVEMENT OF GAS FUEL BURNING IN INFRA-RED RADIATION TORCHES OF «LIGHT» TYPE

D.U. Slesarev V.A. Kubis

Infrared radiation gas burners' work with surplus air coefficients $\alpha=1.0...2.0$. is investigated. It is stated that with the coefficient α increase burners radiation ability increases and reaches its maximum with $\alpha = 1,3...1,5$ and after that it is reduced at all investigated gas pressures. For the first time effective burning of poor gas-air mixtures over surface of ceramic radiant source at minimum harmful substances emission is proved experimentally.

Keywords: gas burners', infrared radiation burners, coefficient of surplus air, ceramic radiant source.

Введение

В последние годы в России пристальное внимание уделяется проблеме энергосбережения. 23 ноября 2009 г. Президент Российской Федерации Д.А. Медведев подписал Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты

Российской Федерации». Этот документ предусматривает планирование энергосбережения и повышение энергетической эффективности устройств и помещений.

Из практики теплоснабжения известно, что наиболее эффективное сжигание природного газа для целей отопления обеспечивают горелки инфракрасного излучения (ГИИ), работающие по принципу лучистого теплообмена и являющиеся разновидностью инжекционных горелок. Схема устройства «светлых» ГИИ представлена на рис. 1. В данных излучателях горение газа открытое и происходит на поверхности керамической насадки.

ГИИ используются для отопления крупных промышленных, общественных и сельскохозяйственных зданий. Особенно широко ГИИ стали применяться в системах децентрализованного теплоснабжения. Как показывает зарубежная и отечественная практика, местные системы отопления с газовыми инфракрасными обогревателями эффективно экономят энергоресурсы при одновременном обеспечении теплового комфорта потребителям.

Однако сферы применения горелок инфракрасного излучения с открытым пламенем на современном этапе ограничены действующими санитарно-гигиеническими и пожарными нормативами. Поэтому наибольшее распространение получили инфракрасные излучатели «темного» типа на основе греющих труб, отличающиеся более низким и лучистым КПД, экологическими и экономическими показателями.

Используемые ГИИ «светлого» типа рассчитаны на работу с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,02...1,07$. Сжигание газоздушных смесей с величинами $\alpha > 1,1$ не рекомендуется, так как считается, что при этом снижается температура горения и, следовательно, падает излучающая способность керамической матрицы [1, 3]. В научно-технической литературе и патентной документации нет сведений о работе ГИИ при значительных избытках воздуха.

В ходе предварительных опытов нами установлено, что в горелках инфракрасного излучения может успешно осуществляться горение бедных газоздушных смесей над поверхностью керамической матрицы. При этом зафиксировано увеличение излучающей способности горелки при минимальном образовании продуктов неполного сгорания. В связи с этим исследования возможности работы ГИИ при значительных избытках воздуха представляются актуальными, а их результаты имеют практическое значение.

Объект исследований

В качестве объекта исследования выбраны горелки ГИИ-1,85 «Звёздочка» и ГИИВ-3,65 «Унифицированная» производства ОАО «Казанский завод газовой аппаратуры – ВЕСТА». Конструктивно эти горелки относятся к наиболее простым и распространенным горелкам инфракрасного излучения «светлого» типа. Устройство горелок изображено на рис. 1.

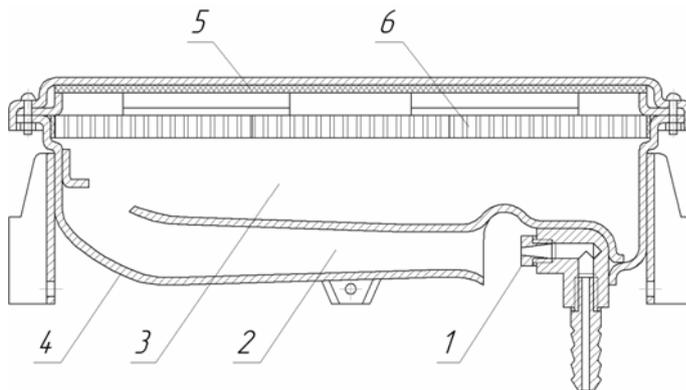


Рис. 1. Устройство горелки инфракрасного излучения:
1 – сопло; 2 – эжектор; 3 – распределительная камера; 4 – корпус; 5 – сетка;
6 – керамические плитки

Экспериментальный стенд

Для проведения исследований использовался стенд с записью результатов на персональный компьютер. Схема лабораторного стенда представлена на рис. 2.

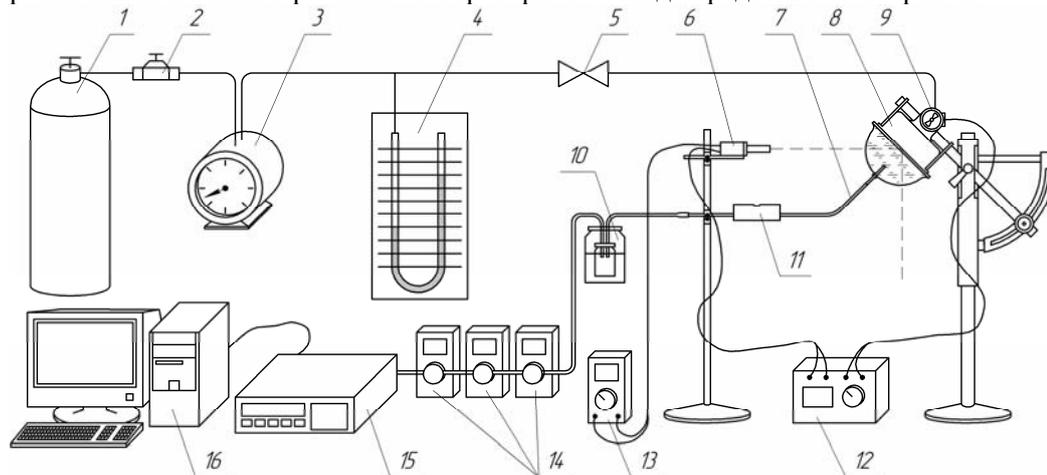


Рис. 2. Схема стенда для исследования горелок:

1 – баллон газовый; 2 – регулятор давления; 3 – счётчик; 4 – манометр; 5 – кран; 6 – датчик (фоторезистор); 7 – пробоотборник; 8 – горелка; 9 – вентилятор; 10 – сборник конденсата; 11 – охладитель; 12 – источник тока; 13 – измерительный прибор; 14 – газоанализаторы «МГЛ-19.ХА»; 15 – газоанализатор «Автотест-02»; 16 – компьютер

В первую очередь исследовалась работа горелок на газе низкого давления без изменения конструктивных параметров. Были получены исходные (базовые) показатели: температура излучающей поверхности горелок и состав продуктов сгорания при различных давлениях газа и оптимальной величине коэффициента избытка воздуха $\alpha = 1,05$. В качестве топлива использовался сжиженный углеводородный газ. Состав газа определен путем хроматографического анализа.

Излучатель горелок закрыли прозрачным экраном из термостойкого стекла с отверстием в центре для отвода продуктов сгорания. В качестве материала экрана использовалось кварцевое стекло, по спектральным характеристикам близкое к стеклу кварцевому марки «КИ» по ГОСТ 15130–86*. Экран задерживает (отражает, поглощает) 18 % инфракрасного излучения горелок в диапазоне длин волн от 1 до 5 мкм. Экран предотвращает доступ окружающего воздуха в зону горения. Для подачи избыточного объёма воздуха горелку ГИИ-1,85 оснастили вентилятором (рис. 3). Для обеспечения работы горелки ГИИВ-3,65 на бедных газовоздушных смесях без применения системы принудительной подачи избыточного воздуха использовался газ среднего давления с переходом на сопло меньшего диаметра. Горелку ГИИВ-3,65 оснастили ниппелем-удлинителем (рис. 4), на резьбе которого установили регулятор расхода воздуха.

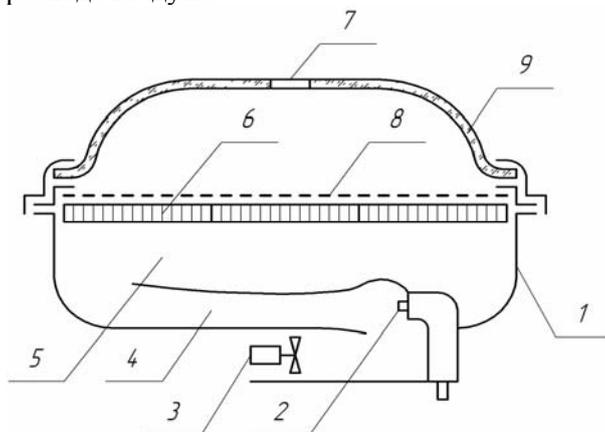


Рис. 3. Схема горелки ГИИ-1,85:

1 – корпус; 2 – сопло; 3 – вентилятор; 4 – эжектор; 5 – распределительная камера; 6 – керамические плитки; 7 – отверстие; 8 – металлическая сетка; 9 – экран

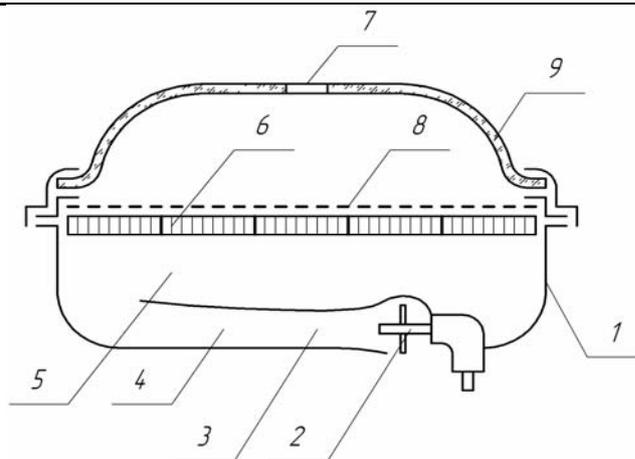


Рис. 4. Схема горелки ГИИВ-3,65:

1 – горелка; 2 – ниппель-удлиннитель; 3 – вставка; 4 – эжектор; 5 – камера смешения;
6 – излучатель; 7 – отверстие; 8 – сетка; 9 – прозрачный экран

Величина коэффициента α изменялась в пределах $\alpha = 1,0...2,0$ при фиксированном значении давления газа (тепловой мощности горелок). В процессе опыта регистрировались величина инфракрасного потока (пирометрическая температура поверхности излучателя) и состав продуктов сгорания при каждом значении коэффициента α и давления газа (тепловой мощности горелок). Исследования проводились при трех характерных положениях горелок: угол $\beta = 0^\circ, 45^\circ, 180^\circ$ от плоскости излучателя к поверхности пола.

Результаты исследований

В результате проведенных исследований получены усредненные данные для трех пространственных положений горелок, которые свидетельствуют о том, что с увеличением коэффициента α температура излучающей поверхности растет и достигает максимума, а именно $845...927^\circ\text{C}$ для ГИИ-1,85 и $888...933^\circ\text{C}$ для ГИИВ-3,65 при $\alpha = 1,3...1,4$, затем снижается при всех исследованных величинах давления газа.

Анализ экспериментальных зависимостей состава продуктов сгорания горелок от коэффициента избытка воздуха позволил установить, что с увеличением коэффициента α до 1,4 концентрация CO и углеводородов CH в продуктах сгорания падает. Затем при $\alpha > 1,4$ концентрации CO и CH остаются на минимальном уровне и составляют соответственно $0,01...0,022$ и $0,001...0,002\%$. Максимальный выход оксида азота ($6...10\text{ мг/м}^3$) зафиксирован при $\alpha = 1,2...1,4$. Эти результаты соответствуют теоретическим представлениям об образовании NO при сжигании топлива. Выход диоксида азота незначителен и составляет $1...2\text{ мг/м}^3$.

На рис. 5 и 6 показана зависимость пирометрической температуры излучающей поверхности горелок ГИИ-1,85 и ГИИВ-3,65, оснащенных прозрачным экраном и работающих при $\alpha = 1,4$, от их тепловой мощности в сравнении с базовыми показателями.

Зависимости, представленные на рис. 5, 6, имеют аналогичный вид и наглядно показывают, что температура излучателя горелок во всем исследованном диапазоне мощностей при установке прозрачного экрана и при значении коэффициента $\alpha = 1,4$ увеличивается в среднем на $90...100^\circ\text{C}$ по сравнению с базовыми показателями горелок. Доля прямой отдачи тепла излучением снизилась по сравнению с базовыми показателями с 0,61 до 0,45, но при этом, согласно закону Стефана – Больцмана, увеличилось абсолютное количество тепла, излучаемое горелкой, на 39,5%. С учетом задержки части излучения экраном, составляющей 18% от общего количества излучения, и с учетом снижения температуры горения газовой смеси с 2100°C при $\alpha = 1,05$ до 1650°C при $\alpha = 1,4$, увеличение теоретического лучистого КПД горелок по сравнению с базовыми показателями составило 13% при том же расходе газа.

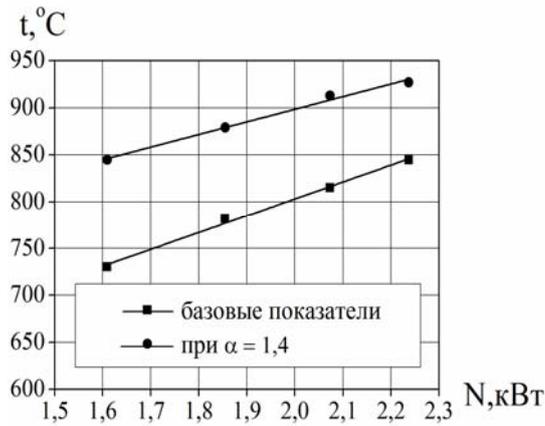


Рис. 5. Зависимость пирометрической температуры от мощности горелки ГИИ-1,85

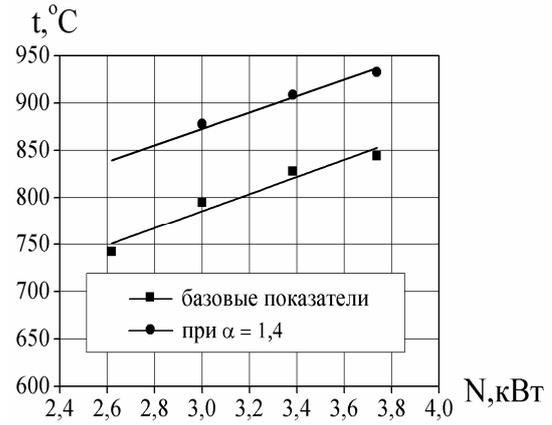


Рис. 6. Зависимость пирометрической температуры от мощности горелки ГИИВ-3,65

В таблице приведено сравнение показателей исследуемых горелок инфракрасного излучения при номинальном давлении газа.

Сравнение показателей горелок при номинальном давлении газа

Показатель	По ГОСТ 25696–83* «Горелки газовые инфракрасного излучения»	Базовые показатели горелки при $\alpha = 1,05$		При $\alpha = 1,4$, горелка оснащена экраном	
		ГИИ-1,85	ГИИВ-3,65	ГИИ-1,85	ГИИВ-3,65
Температура излучателя, °C	800...1000	815	828	913	909
Расход газа, м ³ /ч	-	0,076	0,124	0,076	0,124
Лучистый КПД, %, не менее	35	35	35	48	48
Содержание веществ в сухих неразбавленных продуктах сгорания					
Выход CO, мг/м ³	не более 250	175	200	125	138
Выход NO, мг/м ³	-	5	5	9	10
Выход NO ₂ , мг/м ³	-	1	1	1	1
Выход NO _x , в пересчете на NO ₂ , мг/м ³	не более 60	9	9	15	17

Как видно из таблицы, содержание оксида углерода в продуктах сгорания горелок, оснащенных экраном, снизилось в среднем на 50...60 мг/м³ (25...30 %). Это объясняется ростом концентрации радикала OH в продуктах сгорания из-за увеличения объема воздуха, расходуемого на горение. Вследствие этого интенсифицировалась реакция CO с гидроксидом ($\text{CO} + \text{OH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}$), что способствует более быстрому выгоранию оксида углерода.

Наличие экрана увеличивает время пребывания продуктов сгорания над огневой поверхностью. При этом не происходит их быстрого охлаждения, что в некоторой степени способствует снижению концентрации CO.

Выход оксидов азота у заводских горелок, работающих на газозооушной смеси с $\alpha = 1,05$, ниже, чем у тех же горелок, оснащенных прозрачным экраном и работающих на обедненной газозооушной смеси с $\alpha = 1,4$. Концентрация оксидов азота в продуктах сгорания возросла, так как увеличилась температура излучателя, но при этом горелки, оснащенные экраном, обладают по сравнению с серийными горелками повышенным на 13 % лучистым КПД (см. таблицу) и возможностью централизован-

ного отвода продуктов сгорания. Эти результаты соответствуют теоретическим представлениям об образовании NO_x при сжигании топлива [2]. Следует отметить, что выход оксидов азота не превышает концентрации, нормируемой ГОСТ 25696–83* «Горелки газовые инфракрасного излучения» (не более 60 мг/м^3).

Заключение

Экспериментально установлено, что при устройстве экрана обеднение газозвушной смеси способствует повышению эффективности и экологичности сжигания газа в горелках инфракрасного излучения «светлого» типа.

Выполнены исследования влияния избытка первичного воздуха на показатели работы ГИИ «светлого» типа.

Установлена зависимость температуры излучателя от коэффициента избытка воздуха и тепловой мощности горелок.

Исследована работа горелок инфракрасного излучения «светлого» типа с принудительной подачей воздуха, а также без принудительной подачи воздуха при работе на газе среднего давления.

Список литературы

1. Брюханов, О.Н. Радиационный газовый нагрев [Текст] / О.Н. Брюханов, Е.В. Крейнин, Б.С. Мاستрюков. – Л.: Недра, 1989. – 160 с.
2. Родин, А.К. Газовое лучистое отопление [Текст] / А.К. Родин. – Л.: Недра, 1987. – 190 с.
3. Шмельёв, В.М. О горении газовой смеси над поверхностью перфорированной матрицы [Текст] / В.М. Шмельёв, А.Д. Марголин // XII Симпоз. по горению и взрыву. – Черногоровка, 2000. Ч.3. – С. 165–166.

References

1. Bryukhanov O., Kreinin, EV. Mastryukov BS Radiation gas heating. – L.: Nedra, 1989. – 160.
2. Rodin, AK, gas heating / AK Rodin. – L.: Nedra, 1987. – 190.
3. Shmelev VM, Margolin AD Combustion of the gas mixture over the surface of a perforated matrix // XII Symposium on Combustion and Explosion. – Chernogolovka, 2000. Part 3. – P. 165–166.

Самарский государственный архитектурно-строительный университета

Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

Жильников Владимир Борисович, старший преподаватель кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»
Тел.: 3378103, 3378089

Тюрин Николай Павлович, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция»
Тел.: 3378103, 3378089

Samara State Architecturally Building University

Russia, 443001, Samara, 194, Molodogvardeyskaya St.

Zhilnikov Vladimir Borisovich, Senior lecturer of the department «Heating, gas supply and ventilation»
Tel.: 3378103, 3378089

Tyurin Nikolay Pavlovich, Candidate of sciences, Associate Professor, Head of the department «Heating, Gas supply and ventilation»
Tel.: 3378103, 3378089

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИХРЕВОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ

В.Б. Жильников, Н.П. Тюрин

Рассмотрен принцип работы вихревого пылеуловителя. Приведена математическая модель вихревого пылеуловителя. Рассмотрена вероятность выделения частиц пыли из газового потока.

Ключевые слова: вихревой пылеуловитель, математическая модель, π -теорема, критерии подобия, вероятность, эффективность.

INCREASE OF A VORTICAL DUST CATCHER EFFICIENCY

V.B. Zhilnikov, N.P. Tyurin

The principle of a vortical dust catcher functioning is considered. A mathematical model of a vortical dust catcher is given. A possibility to isolate dust from gas stream is researched.

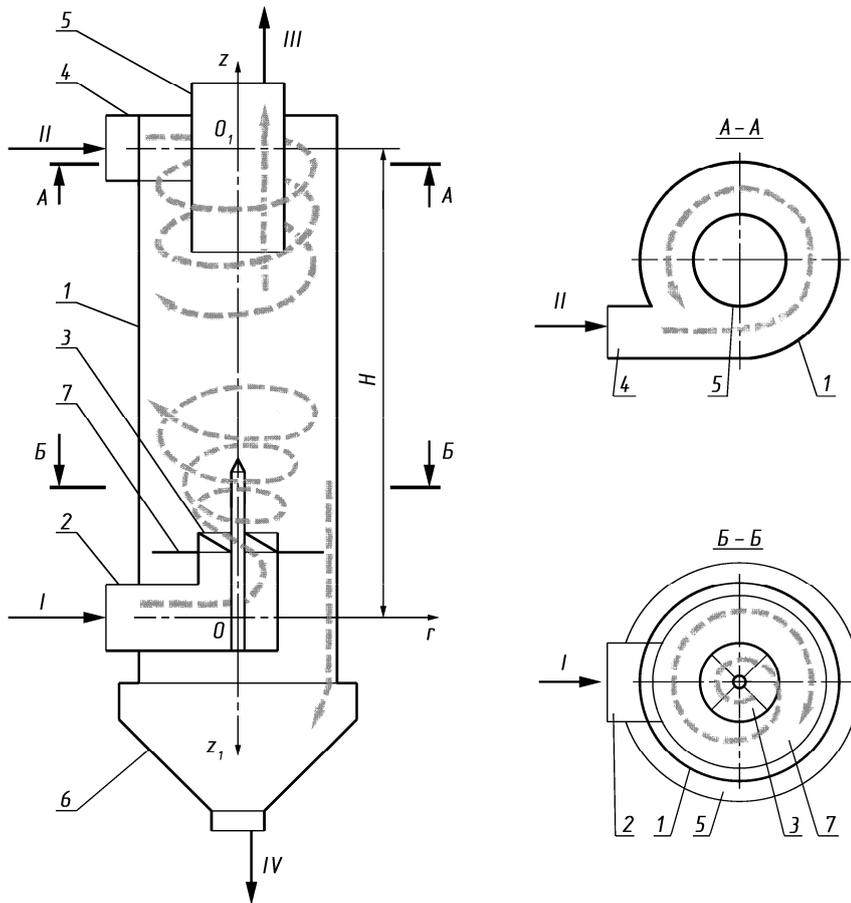
Keywords: vortical dust catcher, mathematical model, theorem Buckingham, resemblance criteria, probability, efficiency.

Вихревой пылеуловитель (ВПУ) является устройством для сухой инерционной очистки газа (воздуха) от пыли, в котором два вихревых потока, закрученных в одном направлении, движутся навстречу друг другу.

Конструктивно ВПУ (см. рисунок) состоит из цилиндрического корпуса, в верхней и нижней частях которого расположены два патрубка с закручивателями потоков для ввода газа. Полость корпуса является сепарационной камерой. Основной (первичный) поток запыленного газа направляется через нижний патрубок, где закручиватель формирует восходящий по оси сепарационной камеры вихревой поток. Вспомогательный (вторичный) поток поступает в сепарационную камеру через верхний патрубок, как правило, тангенциально и движется по спирали вниз, что усиливает центробежный эффект. Таким образом, пыль отделяется от газового потока у стенок аппарата и, стекая по ним, собирается в бункере, а очищенный газ выводится через отверстие вверх. Кольцевое пространство вокруг закручивателя оснащено отбойной шайбой, препятствующей выносу из бункера уловленной пыли. В качестве вторичного потока в ВПУ может использоваться атмосферный воздух, запыленный или очищенный газ.

Частица пыли в первичном газовом потоке газа имеет три составляющие скорости: осевую, радиальную и тангенциальную, в результате чего движется по расширяющейся спирали вверх. Вторичный поток имеет только две составляющие: тангенциальную и осевую, направленные вниз. Причем тангенциальная составляющая

скорости нисходящего потока должна совпадать по направлению с тангенциальной составляющей в восходящем потоке.



Принцип работы вихревого пылеуловителя:

- 1 – корпус; 2 – патрубок для подвода основного потока запыленного газа; 3 – закручиватель потока газа; 4 – патрубок для тангенциального подвода дополнительного потока газа; 5 – патрубок для отвода очищенного газа; 6 – бункер для уловленной пыли; 7 – отбойная шайба; I – основной поток запыленного газа; II – дополнительный поток газа; III – поток очищенного газа; IV – уловленная пыль

Имея в виду эти скорости, можно записать дифференциальное уравнение относительного движения частиц, находящиеся под действием этих сил:

$$M \frac{dv}{d\tau} = C_c - S + H, \quad (1)$$

где C_c – центробежная сила, действующая на частицы; S – сопротивление среды; H – равнодействующая осевая сила;

или

$$M \frac{dv}{d\tau} = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_k - \rho_z) w^2 r - \frac{C \operatorname{Re}^2 \mu_z^2}{\rho_z} + \frac{(v_k - v_z)(\rho_k - \rho_z)}{\tau}, \quad (2)$$

где d – диаметр частицы пыли, м; ρ_z, ρ_k – плотность соответственно вещества частицы пыли и газа, кг/м^3 ; r – радиус вихревого аппарата, м; w – скорость движения частицы пыли, м/с; Re – критерий Рейнольдса, $C = f(\operatorname{Re})$; μ_z – вязкость жидкости, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$; v_k, v_z – тангенциальная составляющая скорости соответственно частицы и потока, м/с; τ – время, с.

Для вычисления скорости осаждения частицы пыли в ВПУ выведем обобщенное выражение с использованием теории размерностей [1].

Основным критерием эффективности любого пылеулавливающего аппарата является коэффициент полезного действия η , который показывает соотношение между количеством пыли, уловленной в аппарате, и количеством пыли на входе в аппарат.

В общем случае η зависит от соотношения сил, действующих на частицу пыли, находящуюся в газе.

Для нашего случая:

$$\eta = f(C_c, S, G, A), \quad (3)$$

где η – коэффициент полезного действия пылеуловителя; C_c – центробежная сила, Н; S – сила сопротивления среды, Н; G – сила тяжести; A – равнодействующая осевых сил, Н.

Рассматривая частицу пыли как шарообразную с диаметром d_o и считая движение ее установившимся, значение действующих сил можно выразить следующим образом:

$$C_c = \frac{\pi d_o^3}{6} (\rho_k - \rho_z) \frac{(v_z - v_k)^2}{r} = \frac{\pi d_o^3}{6} (\rho_k - \rho_z) \frac{\delta v^2}{r};$$

$$S = \frac{C \operatorname{Re}^2 \mu_z^2}{\rho_z};$$

$$G = \frac{\pi d_o^3}{6} \rho_k g;$$

$$A = \frac{\pi d_o^3}{6} (v'_{z_1} - v'_{z_2}) (\rho_z - \rho_k) \frac{H}{2r} = \frac{\pi d_o^3}{6} \Delta v'_z (\rho_z - \rho_k) \frac{H}{2r}.$$

Это значит, что η пылеулавливания в ВПУ является функцией следующих величин:

$$\eta = f_1(\rho_k, \rho_z, \delta v, \mu_z, r, H, g, \Delta v'_z). \quad (5)$$

Траектория вращения частицы пыли (или всего пылевого потока) в нижней части ВПУ представляет собой расширяющуюся вверх спираль, благодаря чему радиус вращения в этой зоне является величиной переменной. Однако большое значение соотношения $H/(2r)$ и цилиндрическая конструкция аппарата допускают предположение о постоянстве радиуса вращения частицы пыли, равного радиусу ВПУ.

Кроме того, на процесс выделения пыли из потока существенное влияние оказывает гидравлическое сопротивление самого аппарата, т.е. разность давлений газового потока на входе и выходе Δp , и размеры спиральной струи вторичного газа l/t .

После включения названных величин в уравнение (5), оно примет вид:

$$\eta = f_1(\rho_k, \rho_z, \delta v, \mu_z, H/(2r), g, \Delta v'_z, \Delta p, l/t). \quad (6)$$

Поэтому, для вывода общей зависимости коэффициента пылеулавливания от различных физических параметров и от размеров ВПУ применим метод анализа размерностей. Для этого уравнение (6) представим в виде степенной зависимости:

$$\Pi = k \rho_k^a d_o^b \mu_z^c \rho_z^e \delta v^f D^j \Delta p^k (l/t)^n \Delta v'_z{}^q. \quad (7)$$

Приняв систему измерения СИ, подставим в уравнение (7) вместо буквенных обозначений величины размерности:

$$\Pi = \left[\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \right] [\text{М}] \left[\frac{\text{КГ}}{\text{М} \cdot \text{С}} \right] \left[\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \right] \left[\frac{\text{М}}{\text{С}} \right] [\text{М}] \left[\frac{\text{М}}{\text{С}^2} \right] \left[\frac{\text{КГ}}{\text{С}^2 \cdot \text{М}} \right] \left[\frac{\text{М}}{\text{С}^2} \right]. \quad (8)$$

Отношение l/t является величиной безразмерной и поэтому в дальнейшем войдет в общее критериальное уравнение без изменения.

Как следует из уравнений (6), (7), (8), получено 9 переменных, которые описываются тремя основными единицами измерения.

Следовательно, число безразмерных величин, входящих в искомое уравнение согласно π -теореме, должно быть равно шести ($9 - 3 = 6$).

Так как искомая величина η является безразмерной величиной ($\Pi_1 = \eta$), то следует найти лишь 5 безразмерных групп: $\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6$.

Приведение показателей степени и единиц измерения, входящих в уравнение (8), дает:

$$\Pi = m^{-3a+b-c-3e+f+h+j-k+q} \text{ кг}^{a+c+e+k} \text{ с}^{-(c+f+2j+2k+2q)}. \quad (9)$$

Для нахождения показателей степени следует решить систему уравнений:

$$\begin{cases} -3a + b - c - 3e + f + h + j - k + q = 0 \\ a + c + e + k = 0 \\ -(c + f + 2j + 2k + 2q) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Решая эти уравнения и группируя величины по показателям степеней, получим:

$$\Pi_2 = \frac{\delta v^2}{9D}; \quad (11)$$

$$\Pi_3 = \frac{\delta v d_o \rho_z}{\mu_z} = \frac{\delta v d_o}{v_z}; \quad (12)$$

$$\Pi_4 = \frac{\Delta p}{\delta v \rho_z}; \quad (13)$$

$$\Pi_5 = \frac{\rho_z - \rho_k}{\rho_z} \frac{D}{d_o}; \quad (14)$$

$$\Pi_6 = \frac{d_o^3 \rho_z^2 v_z'}{\mu_z^2}. \quad (15)$$

Полученные пять безразмерных групп являются критериями подобия процесса пылеотделения в вихревом пылеулавливающем аппарате.

Группа (11) является критерием Фруда Fr и характеризует относительное влияние силы тяжести по сравнению с силами инерции газового потока.

Группа (12) представляет собой критерий Рейнольдса Re и характеризует гидравлический режим течения процесса.

Группа (13) является критерием Эйлера Eu и характеризует подобие сил давления на входе в аппарат и запыленность входящего газового потока.

Группа (14) является сочетанием симплекса Архимеда S_A и соотношения диаметра аппарата D с граничным размером пылевой частицы d_o .

Группа (15) является критерием Галилея Ga для поля центробежных сил и характеризует процесс перемещения частицы вдоль оси аппарата.

Таким образом,

$$\eta = \varphi (Fr, Re, Eu, S_A \frac{D}{d_o}, Ga). \quad (16)$$

При больших скоростях движения газового потока внутри аппарата значение критерия Фруда невелико из-за того, что силы вязкости незначительны по отношению к

силам инерции, и им можно пренебречь. Поэтому основное уравнение будет иметь вид:

$$\eta = k \operatorname{Re}^m \operatorname{Eu}^n S_A^p \left(\frac{D}{d_o} \right)^p \operatorname{Ga}^r. \quad (17)$$

На основе имеющихся исследований [2] установлено, что для процессов разделения по плотности в центробежном поле $p = r$. Обозначив

$$\operatorname{Ga} S_A = \operatorname{Ar} = \frac{d_o^3 \rho_z (\rho_z - \rho_k) v_z'}{\mu_z^2}, \quad (18)$$

перепишем уравнение (17) в окончательном виде:

$$\eta = k \operatorname{Re}^m \operatorname{Eu}^n \operatorname{Ar}^p \left(\frac{D}{d_o} \right)^p. \quad (19)$$

Предложенная в критериальной форме математическая модель работы вихревого пылеуловителя на основании лабораторных и промышленных испытаний приобрела формулу для расчета КПД:

$$\eta = k \operatorname{Re}^{1,73} \operatorname{Eu}^{2,52} \operatorname{Ar}^{0,5} \left(\frac{D}{d_o} \right)^{0,5} \left(\frac{l}{t} \right)^{3,21}. \quad (20)$$

Однако формула (19) довольно громоздка для инженерных расчетов. Кроме того, КПД вихревого аппарата зависит от ряда других конструктивных параметров, в результате чего эффективным оказалось введение понятия «вероятность выделения пыли из газового потока».

Из-за сложности аэродинамической картины процесса сепарации пыли, теоретические исследования и методики инженерного расчета, как правило, основывались на эмпирических коэффициентах, которые были слабо аргументированы и не всегда давали уверенные геометрические параметры.

Нам представляется возможным исследовать аэродинамику в пылеуловителе через вероятность выделения частиц пыли из пылевого потока. Для стохастического описания процесса введем цилиндрическую систему координат $Oxyz$ так, чтобы ось Oz совпадала с осью симметрии пылеуловителя и была направлена вверх в сторону движения основного потока (см. рисунок). Тангенциальному входу вторичного потока соответствует $z = H$. Пусть $N(z, t)$ – плотность пылевого потока, т. е. количество частиц пыли на единицу площади в единицу времени, находящихся на высоте z в момент времени t .

Если рассматривать установившийся процесс, то можно принять, что $N(z, t)$ не зависит от времени: $N(z, t) = N(z)$.

На высоте z аппарата выделим газовый поток толщиной dz . Естественно предполагать, что изменение плотности пылевого потока пропорционально самой плотности $N(z)$, толщине выделенного слоя dz и длине свободного пробега частицы Δ .

При указанном выше выборе системы координат получим:

$$dN(z) = k N(z) \frac{dz}{\Delta}, \quad (21)$$

где k – коэффициент, который может быть включен в Δ , если ввести эффективную длину свободного пробега

$$\Delta_1 = \frac{\Delta}{k}. \quad (22)$$

При условии (22) имеем:

$$dN(z) = N(z) \frac{dz}{\Delta_1}. \quad (23)$$

Заметим, что если ось O_1z_1 направлена вниз и начало координат соответствует положению тангенциального входа вторичного газа, то здесь начинается процесс пылеулавливания и N имеет наибольшее значение. Поэтому $z_1 = H - z$ и $dz_1 = -dz$, в силу чего (23) имеет вид:

$$dN(z_1) = -k N(z_1) \frac{dz_1}{\Delta}. \quad (24)$$

Решим уравнение (24) в предположении, что длина свободного пробега Δ не зависит от плотности потока $N(z)$, хотя возможно, что $\Delta' = \Delta(z)$:

$$N(z) = C \exp\left(k \int_0^z \frac{dz}{\Delta}\right). \quad (25)$$

Пусть плотность запыленности в начальной точке расслоения газового потока

$$N(H) = N_o. \quad (26)$$

Тогда в силу (25) имеем:

$$N_o = C \exp\left(k \int_0^H \frac{dz}{\Delta}\right), \quad (27)$$

откуда

$$C = N_o \exp\left(-k \int_0^H \frac{dz}{\Delta}\right) \quad (28)$$

и поэтому

$$N(z) = N_o \exp\left(-k \int_0^H \frac{dz}{\Delta}\right). \quad (29)$$

Пусть S – эффективная площадь поперечного сечения аппарата. Если n_o – концентрация пыли, v_o – скорость поступления запыленного газового потока, F – суммарная площадь входа в I и II , то

$$N_o F v_o = N_o S, \quad (30)$$

откуда

$$N_o = \frac{n_o F v_o}{S}. \quad (31)$$

Тогда

$$N(z) = \frac{n_o F v_o}{S} \exp\left(-k \int_z^H \frac{dz}{\Delta}\right). \quad (32)$$

Количество частиц пыли, выпавших в аппарате за единицу времени, определяется как

$$n = S \int_0^H N(z) dz, \quad (33)$$

что, согласно (32), может быть записано в виде

$$n = n_o F v_o \int_0^H \exp \left(-k \int_z^H \frac{dz}{\Delta} \right) dz . \quad (34)$$

Вероятность выделения пыли из газового потока может быть определена как

$$P = \frac{n}{n_o F v_o} . \quad (35)$$

Эта вероятность характеризует коэффициент полезного действия аппарата η , и, как следует из (34) и (35),

$$\eta \approx P = \int_0^H \exp \left(-k \int_z^H \frac{dz}{\Delta} \right) dz . \quad (36)$$

Параметры Δ и k зависят от конструктивных особенностей аппарата и параметров пылевого потока.

Одной из основных задач при проектировании ВПУ является повышение эффективности очистки за счет снижения уноса пыли с очищенным газом. Унос пыли, в свою очередь, является следствием образования паразитных завихрений в сепарационной камере. Дело в том, что при создании ВПУ одним из основных было условие плавного слияния двух вихревых потоков, при этом должны максимально проявляться центробежные и инерционные силы. Если это условие нарушается, то возникают предпосылки образования вихревых возмущений, придающих дополнительный импульс частицам пыли. И эти частицы могут двигаться не по спирали вниз к бункеру, как хотелось бы, а в любом другом направлении, в том числе в приосевую область сепарационной камеры к потоку очищенного воздуха и уноситься вместе с ним через выходной патрубок.

Аэродинамическое взаимодействие вихревых течений, даже когда в нем участвуют два потока, является чрезвычайно сложным. Однако можно с весьма высокой степенью вероятности утверждать, что при слиянии двух вихревых потоков возникновению паразитарных вихрей, приводящих к уносу пыли, будут способствовать турбулентные пульсации. При этом очевидно, чем больше масштаб этих пульсаций, тем выше будет степень уноса пыли. Не исключено, что турбулентные пульсации играют решающую роль в образовании вихревых шнуров, особенно в местах слияния двух вихревых течений.

Для повышения эффективности ВПУ следует устранить или хотя бы «смягчить» условия, вызывающие вихревые возмущения при слиянии первичного и вторичного потоков запыленного газа. Для этого нужно в первую очередь стабилизировать скоростные поля потоков и максимально снизить масштаб турбулентности (в особенности в отношении вертикальной составляющей). По сути дела, следует стремиться к формированию плавных вихревых потоков по контуру сепарационной камеры.

Конструктивные особенности ВПУ, по патентам авторов [3-8], направлены на снижение уноса пыли при минимальных энергозатратах за счет стабилизации полей скоростей и концентрации как в первичном потоке, так и во вторичном, а также и в потоке очищенного газа. Реализация предлагаемых мероприятий позволит уменьшить унос пыли с очищенным газом и, следовательно, повысит эффективность пылеулавливания.

Список литературы

1. Эйгенсон, А.С. Моделирование [Текст] / А.С. Эйгенсон. – М.: Промстройиздат, 1949. – 240 с.
2. Сажин, Б.С. Исследование улавливающей способности и перепада давления на опытно-промышленной установке ВЗП-150 [Текст] // Б.С. Сажин, В.Н. Дадыжский, Г.И. Ефремов // Современные проблемы развития текстильной промышленности и задачи подготовки инженерных кадров: материалы научн. конф. Московского текстильного института. М., МТИ, 1979. – С. 17.
3. Сепарационный пылеуловитель [Текст]: пат. 2090268 Рос. Федерация, С1 кл. 6 В 04 С 3/06, В 01 D 45/12 / В.Б. Жильников, В.М. Полонский, А.Е. Шибраев, Е.В. Шибраев; заявитель и патентообладатель СГАСУ; заявл. 6.05.95; опубл. 20.09.97, Бюл. – 1997. – №26.
4. Вихревой пылеуловитель [Текст]: пат. 2096070 Российская Федерация, С1 кл. 6 В 01 D 45/12, В 04 С 3/06 / В.Б. Жильников, В.М. Полонский, А.Е. Шибраев, Е.В. Шибраев; заявитель и патентообладатель СГАСУ; заявл. 26.07.95; опубл. 20.11.97, Бюл. – 1997. – №32.
5. Вихревой пылеуловитель [Текст]: пат. 2146562 Российская Федерация, С1 кл. 7 В 01 D 45/12, В 04 С 3/06 / С.В. Дежуров, В.Б. Жильников, В.М. Полонский [и др.]; заявитель и патентообладатель СГАСУ; заявл. 24.09.98; опубл. 20.03.2000, Бюл. – 2000. – №8.
6. Вихревой пылеуловитель [Текст]: пат. 2183495 Российская Федерация, С2 кл. 7 В 01 D 45/12, В 04 С 3/06 / Е. В. Шибраев, А. Е. Шибраев, Н. П. Тюрин [и др.]; заявитель и патентообладатель СГАСУ; заявл. 10.03.2000; опубл. 20.06.2002, Бюл. – 2002. – №17.
7. Сепарационный вихревой пылеуловитель [Текст]: пат. 2183496 Российская Федерация, С2 кл. 7 В 01 D 45/12, В 04 С 3/06 / Е.В. Шибраев, А.Е. Шибраев, Н.П. Тюрин [и др.]; заявитель и патентообладатель СГАСУ; заявл. 20.03.2000; опубл. 20.06.2002, Бюл. – 2002. – №17.
8. Вихревой пылеуловитель [Текст]: пат. 2183497 Российская Федерация, С2 кл. 7 В 01 D 45/12, В 04 С 3/06 / Е.В. Шибраев, А.Е. Шибраев, Н.П. Тюрин [и др.]; заявитель и патентообладатель СГАСУ; заявл. 21.03.2000; опубл. 20.06.2002, Бюл. – 2002. – №17.

УДК 697.911

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Баканова Светлана Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Теплогазоснабжение и
вентиляция»
Тел.: 89273827445

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Bakanova Svetlana Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Heat, Gas Supply and
Ventilation»
Tel.: 89273827445

ФИЛЬТРАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ МОНОДИСПЕРСНЫЙ СЛОЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ИСТЕЧЕНИЯ ПОТОКА

С.В. Баканова

Рассматривается фильтрация воздуха при различных условиях входа потока в слой загрузки с целью выявления основных факторов, оказывающих влияние на растекание потоков в плоскости, нормальной к основному направлению истечения потока.

Ключевые слова: воздухораспределение, пористый слой, структура слоя, режим слоя, конструктивное оформление приточной решетки.

VENTILATION AIR FILTRATION BY MONODISPERCED LAYER IN DIFFERENT CONDITIONS OF STREAM INFLOW

S.V. Bakanova

The article deals with air filtration in different condition of stream inflow into loading layer in order to determine the main factors influencing the stream spreading in the surface which is normal to the main inflow directions.

Keywords: air spreading, porous layer, layer structure, flow regime, supply grill structure.

При организации воздухообмена в помещениях хранения продукции (хранилищах, авторефрижераторах, трюмах и т.п.) наиболее целесообразным считается способ раздачи воздуха через отдельные воздуховыпускные решетки различных конструкций, площадь которых намного меньше площади обслуживаемой зоны слоя загрузки. Этот способ раздачи воздуха имеет такие преимущества, как простота и экономичность в реализации, увеличение полезного объема помещения, использование положительных свойств структуры пористых слоев загрузок, способствующих растеканию воздушного потока. Сохранность продукции при подобном способе воздухораспределения во многом зависит от равномерности распределения воздуха в области, прилегающей к воздуховыпускным решеткам. Это определяет микроклимат в загруженном помещении и в итоге – качество продукции.

Известно [1], что штабельная укладка обеспечивает практически равномерное распределение потока уже в области, непосредственно прилегающей к воздуховыпускной решетке. Поэтому исследовался распространенный на практике случай хранения продукции насыпью, структура пористого слоя которой менее всего способствует растеканию приточного факела.

К рассмотрению были приняты следующие факторы: структура слоя, режим течения, соотношение геометрических размеров элементов пористого слоя и воздуховыпускного отверстия, особенности конструктивного оформления приточной решетки.

Приводятся результаты исследования фильтрации воздуха при различных условиях входа потока в слой загрузки с целью выявления основных факторов, оказывающих влияние на растекание потока в плоскости, нормальной к основному направлению истечения.

Экспериментальные исследования проведены на аэродинамической установке, представленной на рис.1. Воздух с помощью центробежного вентилятора 1 высокого давления подавался к воздухораспределителю 6, который располагался в основании вертикальной камеры 10 с поперечным сечением $0,6 \times 0,6$ м. Изучался случай истечения струи в монодисперсный слой, образуемый стеклянными шарами диаметром 20 мм. Структура слоя моделировалась упорядоченной укладкой шаров. В зависимости от способа укладки шаров пористость слоя (ϵ) может изменяться в широких пределах: от $\epsilon = 0,35$ при рыхлой структуре до $\epsilon = 0,26$ при максимально плотной структуре.

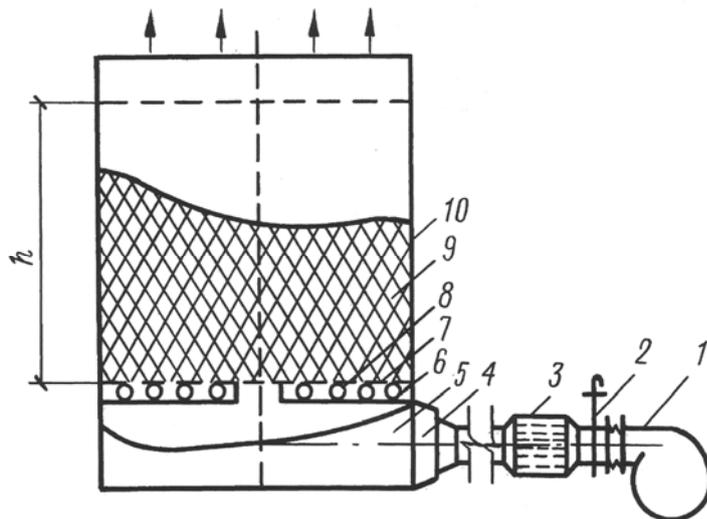


Рис.1. Схема аэродинамической установки:

- 1 – вентилятор; 2 – шибер; 3 – успокоитель потока; 4 – ступенчатый диффузор; 5 – камера статического давления; 6 – съемная кассета с вариантами воздухораспределителей; 7 – опорные стержни; 8 – сетка; 9 – слой загрузки; 10 – загрузочная камера

Экспериментальные исследования, выполненные при одинаковых условиях истечения потока, позволяют заключить, что структура монодисперсного слоя, его пористость оказывают влияние на процессы фильтрации воздуха вблизи приточного отверстия. Об этом свидетельствуют кривые изменения безразмерных скоростей на оси потока W_0 / W_∞ (W_∞ – скорость выравненного потока), представленные на рис. 2,а. Влияние ϵ на скорость фильтрации потока замечено на расстояниях $\bar{y} = y / d_F < 0,35$, где d_F – эквивалентный по площади диаметр камеры.

Изменение интенсивности вентилирования слоя загрузки в достаточно широком диапазоне чисел Рейнольдса ($Re_0 = 28000 \dots 200000$) не оказывает заметного влияния на кинематику приточного факела. Безразмерные скорости фильтрации на оси потока практически сохраняют свое значение (рис. 2,а).

В плотном монодисперсном слое с пористостью $\epsilon = 0,26$ установлено наличие четырех характерных областей, в пределах которых течение воздушного потока подчиняется своим закономерностям, отличающимся от таковых при $\epsilon = 0,35$ [2]. Причем распределение безразмерных скоростей фильтрации по оси потока в пределах каждой области достаточно точно аппроксимируется зависимостями вида:

$$\frac{W_0}{W_\infty} = \frac{1}{1,96\bar{y} - 0,0015}, \quad \bar{y}_1 \leq 0,1;$$

$$\frac{W_0}{W_\infty} = 0,189\bar{y}^{0,68} \quad 0,1 < \bar{y}_2 < 0,2;$$

$$\frac{W_0}{W_\infty} = 4,06 - 10,57\bar{y}, \quad 0,2 < \bar{y}_3 < 0,275;$$

$$\frac{W_0}{W_\infty} = -1,79\bar{y}^2 - 0,237\bar{y} + 1,39, \quad \bar{y}_4 \geq 0,275.$$

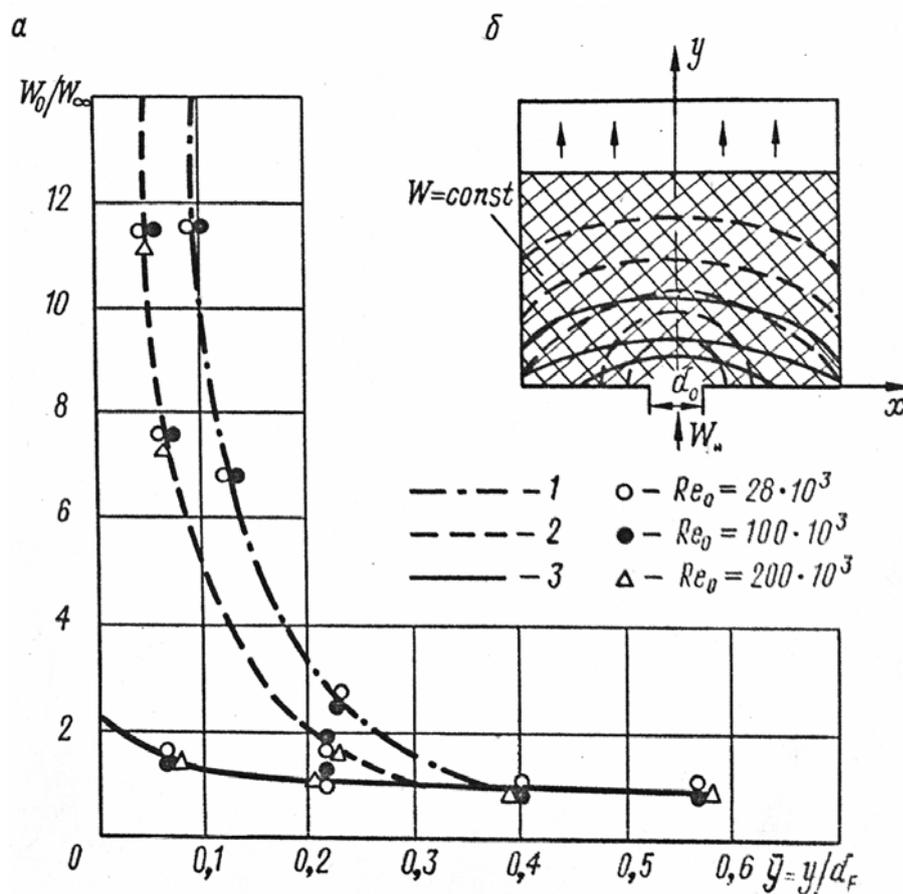


Рис.2. Распределение скоростей в монодисперсном слое из шаров при выпуске воздуха через отверстие:

- а – изменение безразмерной скорости на оси потока: 1 – при $\varepsilon = 0,35$, $\bar{d}_3 < 0,6$;
 2 – при $\varepsilon = 0,26$, $\bar{d}_3 < 0,6$; 3 – при $\varepsilon = 0,26$, $0,6 \leq \bar{d}_3 \leq 1,0$; б – характер изотох в слое

В экспериментах по оценке влияния соотношения геометрических размеров элементов слоя d_3 и воздуховыпускного отверстия в d_0 (d_3 и d_0 – диаметры или эквивалентные диаметры) на процессы фильтрации воздуха относительный параметр $\bar{d}_3 = \frac{d_3}{d_0}$ изменялся от 1 до 0,2. С этой целью в основании камеры устанавливались

кассеты с различным диаметром воздуховыпускного отверстия. Конструктивное решение, обеспечивающее взаимозаменяемость кассет б (см. рис.1), позволило проводить исследования при идентичной структуре пористого слоя, что также повысило достоверность результатов и существенно ускорило проведение экспериментов.

Оценивая развитие приточного факела в монодисперсном слое (см. рис.2, а), можно утверждать, что величина относительного параметра \bar{d}_3 оказывает существенное влияние на процесс формирования скоростных полей на расстояниях $\bar{y} = y/d_F < 0,3$ от воздуховыпускного отверстия. Приточный факел, образующийся при геометрическом соотношении элементов слоя и приточного отверстия в пределах изменения

$0,6 \leq \bar{d}_3 \leq 1$, явно отличается от факела, формирующегося при $\bar{d}_3 < 0,6$. Увеличение относительного размера элемента слоя \bar{d}_3 от 0,6 до 1 способствует растеканию потока в пористом слое, а следовательно, и равномерности его вентилирования. Это положение иллюстрирует эквипотенциальные линии равных скоростей, представленные на рис. 2,б, и кривые изменения безразмерной скорости на оси факела (см. рис. 2,а).

В пределах первой области изменение скорости на оси потока может быть представлено зависимостью следующего вида:

$$\frac{W_0}{W_\infty} = \frac{1}{2,81\bar{y} + 0,45}, \quad \bar{y}_1 \leq 0,04.$$

Осевая скорость в пределах второй области течения изменяется по линейной зависимости

$$\frac{W_0}{W_\infty} = 1,74 - 4,13\bar{y}, \quad 0,04 < \bar{y}_2 < 0,15.$$

Область внешнего течения аппроксимируется квадратным трехчленом

$$\frac{W_0}{W_\infty} = -1,44\bar{y}^2 + 0,38\bar{y} + 1,06, \quad \bar{y}_3 \geq 0,15.$$

Из результатов исследований можно сделать важный вывод, что в случае соизмеримости размеров элементов слоя и воздуховыпускного отверстия можно добиться эффекта равномерного распределения воздуха вблизи воздуховыпускных отверстий, не прибегая к помощи специальных распределительных устройств. На практике это положение можно использовать, например, при проектировании систем воздушного охлаждения в помещениях хранения рыбопродукции в бочках.

Однако при небольших размерах элементов слоя с относительным значением $\bar{d}_3 < 0,6$ раздача воздуха через отдельные вентиляционные отверстия приводит к образованию зон с повышенными скоростями на входе из воздуховыпускного отверстия (см. рис.2, а) и пониженными скоростями потока на периферии.

В настоящее время на практике с точки зрения равномерности вентилирования хранимой продукции отдают предпочтение воздухораспределителям, возвышающимся над плоскостью основания слоя насыпи: пирамидальным, трапециевидным, треугольным [3], но их применение усложняет внедрение в хранилищах средств механизации.

Далее выявлялись рациональные конструкции воздухораспределителя, обеспечивающего при истечении потока с уровня основания насыпи интенсивную подачу воздуха в периферийную зону и снижение скорости фильтрации в зоне, прилегающей к воздуховыпускному отверстию. С этой целью были проведены поисковые эксперименты, испытано пять конструкций различных воздухораспределительных устройств.

Первоначально предметом анализа служили современные конструктивные решения воздухораспределителей, создающих наибольший угол расширения струи, истекающей в свободное пространство. Это лункообразный воздухораспределитель [4] и воздухораспределитель с поворотными лопатками [5]. Односторонний угол бокового расширения струи составляет соответственно 70 и 60°.

Приточный факел, образующийся в монодисперсном слое при установке этих воздухораспределителей, отличается от такового при свободном истечении потока. Об этом свидетельствуют представленные на рис. 3 эпюры безразмерных скоростей W/W_∞ фильтрации воздуха в поперечных сечениях приточных факелов, образованных при истечении из воздухораспределителя с поворотными лопатками, из круглого отверстия и лункообразного воздухораспределителя. При истечении из воздухораспределителя с поворотными лопатками скорости на оси потока близки к скоростям

при сосредоточенном выпуске воздуха из отверстия и отличаются от безразмерных скоростей на периферии более чем в восемь раз, из лункообразного – более чем в четыре раза. Таким образом, лучшие образцы воздухораспределителей, предназначенных для равномерной раздачи воздуха в незагруженные помещения, при истечении в монодисперсный слой теряют свои преимущества и по своей эффективности приближаются к обычным отверстиям.

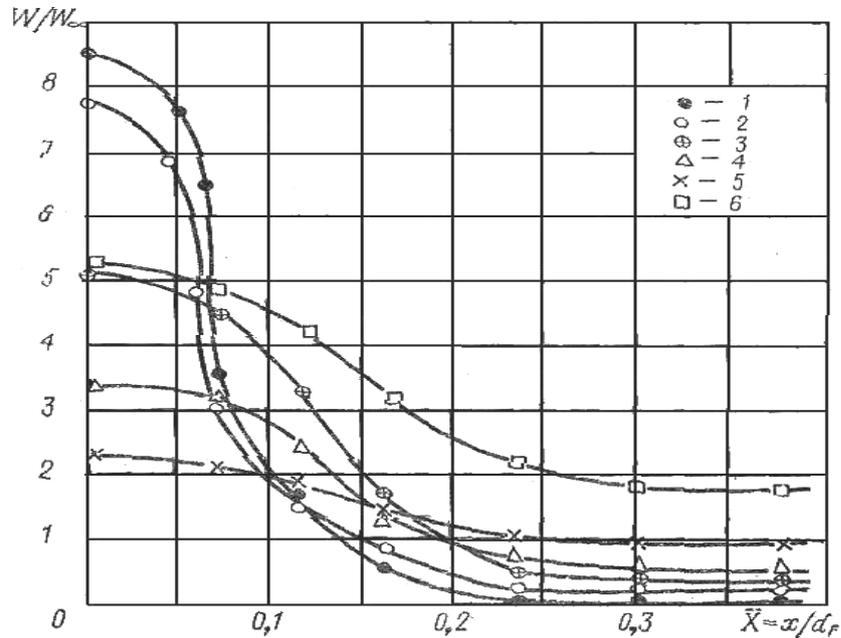


Рис.3. Профиль безразмерных скоростей W/W_{∞} воздушного потока в монодисперсном слое из шаров на расстоянии $\bar{y} = y/d_F = 0,06$ от воздухораспределителя:

- 1 – с поворотными лопатками; 2 – круглого отверстия; 3 – лункообразного; 4 – с веерными лопатками; 5 – предлагаемой конструкции (набор усеченных пирамид, расположенных коаксиально относительно центральной оси); 6 – пирамидального, возвышающегося над основанием насыпи

Пирамидальный воздухораспределитель, возвышающийся над основанием насыпи, имеет лучшие показатели в сравнении с двумя предыдущими (см. рис.3). Причем, чем больше угол между векторами скорости при истечении из подобных воздухораспределителей, тем большая равномерность вентиляции наблюдается. Результаты исследований, представленные в работе [4], подтверждают выдвинутое автором предположение, что увеличения скорости фильтрации в периферийной зоне можно достигнуть за счет перераспределения расхода в воздухораспределителе и придания внешнему потоку соответствующей направленности. Поэтому эффективность воздухораспределителя следующего варианта (с веерными лопатками, расположенными под углом 60° относительно центральной оси) оказалась значительно выше. Скорости на оси потока отличаются от скоростей на периферии уже только в 2,5 раза.

Представлена эпюра безразмерных скоростей в поперечном сечении приточного факела, образованного при истечении через воздухораспределительное устройство, предложенное в работе [6] в виде набора усеченных пирамид, расположенных коаксиально относительно центральной оси. Особенностью этой конструкции является возможность регулирования расхода воздуха, поступающего в его центральную часть и на периферию. Последнее обеспечивается с помощью экрана, перемещаемого специальным винтом. Такое исполнение воздухораспределительного устройства позволило направить необходимую часть расхода в периферийную зону и одновременно снизить его долю в центральной зоне. Эти мероприятия способствуют получению относительно равномерного фильтрационного потока в зонах, прилегающих к возду-

ховыпускному устройству в случаях, когда размеры элементов насыпного слоя оказываются несоизмеримыми с размерами приточного отверстия.

Таким образом, полученные сведения и результаты разработок автора по оформлению приточных вентиляционных решеток в помещениях хранения продукции позволяют более обоснованно подходить к проектированию наиболее простых и экономичных систем воздухораспределения с сосредоточенным выпуском воздуха, существенно повысить эффективность последних, а следовательно, и качество хранимой продукции.

Список литературы

1. Таурит, В.Р. Исследование взаимного влияния напольного воздухораспределителя и штабельной загрузки [Текст] / В.Р. Таурит, И.К. Гордеев // Исследование в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: межвуз. темат. сб. тр. – Л.: ЛИСИ, 1975. – С. 97–104.
2. Эрдман, Н.В. Фильтрация струи через пористый слой вентилируемой загрузки [Текст] / Н.В. Эрдман, В.Р. Таурит // Изв. Ан УзССР. Сер. Техн. наук. – 1979. – №5. – С. 89–92.
3. Баканова, С.В. Схемы систем вентиляции овощехранилищ [Текст] / С.В. Баканова, Т.Н. Снадина // Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: сб. статей VI Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2005. – С. 19–22.
4. Авдеева, Т.П. Конструкция и аэродинамические характеристики приточного лункообразного устройства [Текст] / Т.П. Авдеева // Исследование в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: межвуз. темат. сб. тр. – Л.: ЛИСИ, 1976. – С. 53–57.
5. Ловцов, В.В. Исследование и методика расчета воздухораспределения закрученными струями [Текст]: автореф. дис ... канд. техн. наук / В.В. Ловцов. – Л.: ЛИСИ, 1977. – 34 с.
6. Таурит, В.Р. Авторское свидетельство № 1596182 [Текст] / В.Р. Таурит, С.В. Баканова.
7. Баканова, С.В. Воздухораспределение в плотном слое [Текст] / С.В. Баканова // Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: сб. статей VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2007. – С. 69–68.

References

1. Taurit VR, Gordeev IK Investigation of cross floor diffuser and stacked load. – In the book.: A study in the field of heating, ventilation and air conditioning: Intercollege. Topics. Sat tr. – LA: LISI, 1975. – P. 97–104;
2. Erdmann N., Taurit VR Filtration flows through a porous layer ventilated boot. – Math. Uzbekistan Academy of Sciences. Ser. Tech. Science. – 1979. – № 5. – P. 89–92;
3. Bakanova SV, Snadina TN Schemes of ventilation vegetable stores. – In the book.: Problems of Energy Efficiency and Environment in the industrial and housing – municipal complex. Sat Article VI of the International scientific – practical conference. – Penza, 2005. – P. 19–22;
4. Avdeev, TP The design and aerodynamic characteristics of the supply lunkoobraznogo device. – In the book.: A Study in the heating ventilation and air conditioning: Intercollege. Thematic. Sat tr. – L.: LISI, 1976. – P.53–57;
5. Catchers VV The study and method of calculating air distribution swirling jet: Author. Thesis Cand. Tekhn. Science. – LA: LISI, 1977. – 34 p.
6. Taurit VR, Bakanova SV Author's certificate number 1596182.
7. Bakanova SV Air distribution in the dense layer. – In the book.: Problems of energy saving and environment in industrial and municipal housing complexes. Sat Article VIII of the International Scientific Conference. – Penza, 2007. – P. 69–68.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

*35-летию пензенской высшей
архитектурной школы посвящается*

УДК 72.0

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

*Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77*

Лапшина Елена Геннадьевна,
кандидат архитектуры, профессор,
заведующая кафедрой «Основы
архитектурного проектирования»
E-mail.: elenlaps@sura.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

*Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77*

Lapshina Elena Gennadievna,
Candidate of Architecture. Professor. Head of
the department «Architectural design base»
E-mail.: elenlaps@sura.ru

ДИСЦИПЛИНА «ПРОСТРАНСТВО» В СТОЛИЧНОЙ И РЕГИОНАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ШКОЛЕ РОССИИ

Е.Г. Лапшина

Ставится задача определения места «пространства» как учебной дисциплины и как основной категории в архитектуре XX-XXI вв. Дан анализ ситуации рубежа XIX-XX веков, породившей новую культуру, иные принципы организации архитектурного пространства, новые художественные направления и школы. Исследуется ситуация рубежа XX-XXI вв., изменившая культурную парадигму и инициировавшая очередную реформу современного образования. Рассматриваются проблемы региональной и столичной архитектурно-художественных школ в их историческом аспекте.

Ключевые слова: пространство, архитектурно-художественная школа, культура, реформа образования.

DISCIPLINE «SPACE» IN CAPITAL AND REGIONAL RUSSIAN SCHOOL OF ARCHITECTURE AND ART

E.G. Lapshina

The article tries to define the role of «Space» as an academic subject and as one of the main categories of the XX-XXI centuries. It analyzes that situation on the border of XIX-XX centuries that has given birth to new culture, another principles of architectural space formation, new art directions and schools. It also analyzes the situation on the border of XX-XXI centurie which has changed the culture paradigm and initiated another reform in education. Problems of regional and capital architecture and art school are discussed in their historical aspect.

Keywords: space, architectural-art school, culture, graduate reform.

Пространство в качестве основной категории архитектуры было заявлено в начале XX столетия – периода, характеризуемого наступлением новой эры человечества. Первыми эту идею выдвинули итальянские футуристы, а вслед за ними развивали русские авангардисты. Новую архитектуру, очищенную от канонов и традиций, связанную с организацией пространства для свободной жизни, должен был строить новый человек, к воспитанию которого и приступили в свободных художественных мастерских, созданных в 1918 г. на базе упраздненных академических школ в разных городах Советской России.

Основной принцип обучения, который был провозглашен при реформе учебных заведений, опирался на инициативу молодежи, студентов. Приехавший в Пензу скульптор Евфимий Владимирович Равдель, назначенный 6 апреля 1918 года заведующим подотделом искусств губернской коллегии народного образования, 4 августа того же года на первом собрании учеников Пензенского художественного училища объяснял им, что отныне «переменится самый метод преподавания. В мастерской будут только художники, а не педагоги... Никакого навязывания и вдалбливания преподавательских тенденций в молодых художников не будет» [1, с.117]. При этом Е. Равделем приводился пример осуществления реформы в Московском училище живописи, ваяния и зодчества – трех «знатнейших искусств». По сути, Равдель выступил как художник-организатор, несущий новую, революционную идеологию в массы [2, с.73].

Однако работа особой комиссии, созданной для разработки проекта реформы, не всеми оценивалась положительно. Сохранились воспоминания известного педагога Пензенской художественной школы, проработавшего в ней полвека. Он писал: «Равдель создал исполнительный комитет из учеников, которые и стали руководить учебой. Они сами создавали для себя все учебные планы, выдумывая всевозможные чудачества, отрицали все, что называлось здравым смыслом. Так, например, связывали разные предметы обихода, на веревке подвешивали их к потолку и кто-нибудь раскачивал эту связку, а ученики должны были рисовать. Это называлось – «Натюрморт в динамике». Много было подобных чудачеств<...> В общем, получалось что-то сумбурное, непонятное. Большинство учеников ходили растерянными и не понимали – где же истина?» [1, с.485].

Программы учебных предметов перестали создаваться педагогами. Все решалось на общих собраниях групп учащихся. Здесь доказывалось, что «все, что было раньше в художественном училище, – скучная рутинная и что истинное искусство должно быть таким, каким оно проявляется в «левых» течениях. Отрицалась всякая грамотность, серьезное углубление в искусство» [1, с.486].

Находясь сегодня на пороге последней реформы образования в России, можно увидеть много схожего с ситуацией в архитектурно-художественном образовании начала прошлого века. Так, система бакалавриата, заимствованная в начале XXI века у западной культуры и внедряемая в отечественные школы, предполагает свободу выбора учащимися места обучения, выбора преподавателя с его программой по читаемой дисциплине и, наконец, составление самого учебного плана из разного набора учебных дисциплин, индивидуально для каждого учащегося. Во главу угла ставится, как и век назад, свободный выбор ученика, студента. Педагог, преподаватель, профессор, создавший свою школу – уже не главное, сегодня он призван осуществлять, так сказать, образовательные услуги. Фактически снова отменяются в сфере образования творческие классы мастеров – художников, архитекторов. Творческая мастерская свободного художника как бы выводится за скобки учебного заведения.

Во что может вылиться подобная ситуация, складывающаяся в системе образования, с какими проблемами может столкнуться средняя профессиональная и высшая школа в нашей стране? Чтобы ответить на поставленные вопросы, обратимся к анализу реализации образовательной реформы 1918 года и ее итогов.

Прежде всего, следует рассмотреть общую историческую ситуацию, приведшую к образованию свободных художественных мастерских. Период конца XIX – начала XX веков характеризуется социальными и политическими катаклизмами. На фоне политической, социальной революции происходит промышленная, а затем и научно-тех-

ническая. Обновленный в результате глубоких переворотов мир с неизбежностью требовал революции культурной, и она не замедлила последовать.

Известный Манифест Маринетти, в котором была изложена программа футуристов, призывал начать обновление мира с разрушения традиций, канонов, отправив все веками наработанное человечеством на «свалку истории». Именно тогда, в конце XIX века, была сделана ставка на динамику новой жизни, на развивающуюся технику, на скорость, перемены и трансформации средового наполнения в городах.

В культуре, в искусстве возникли новые течения, новые школы. Позже они были названы «формальными», так как обратились к выявлению закономерностей построения новой художественной формы, в том числе – в архитектуре. В качестве элементов формы были признаны *линия, свет, цвет* и *пространство*. Отмечалось также, что выделенные элементы соответствуют области *рисунка, живописи, зодчества*. Так, область архитектуры была напрямую связана с пространством как элементом архитектурной формы. В исследованиях К.Э. Лехари [3] выявлено, что первым определение архитектуры как пространственного искусства дал Август Шмарзов, представитель формальной школы Германии и Австрии. В результате в начале XX века зарубежными теоретиками были разработаны пространственные концепции «органической архитектуры» (Ф.Л.Райт), «геометрических принципов архитектуры» (Ле Корбюзье) и «свободного пространства» (Мисс Ван дер Роэ).

В отечественной культуре также сложились свои «формальные» школы. Прежде всего отметим школу Николая Ладовского с его «рационалистической концепцией» и Владимира Татлина с его «художественным конструктивизмом». Последний был назван автором «культурой материалов» и понят позже Д. Сарабьяновым в качестве «станковой архитектуры» [4]. Появилась и школа «функционалистов», которые видели свои «задачи организации пространства не только как художественные, но и как социотехнические средства организации производственных и бытовых процессов» [5].

Н.Ладовский и В.Татлин преподавали во ВХУТЕМАСе, созданном на базе свободных художественных мастерских; первый – в Москве, второй – в Петрограде. Рационалисты, объединившиеся в ассоциацию новых архитекторов (группа АСНОВА), под руководством Н. Ладовского вели поиск «универсальных пространственных форм». За основу такой формы были взяты ее геометрические характеристики – величина, геометрический вид, положение в пространстве. Именно Н. Ладовскому принадлежит знаменитое высказывание о том, что пространство, а не стены и потолок, является материалом архитектуры. В результате во ВХУТЕМАСе в учебную программу была введена дисциплина «Пространство».

Н. Ладовский создал специальную лабораторию по изучению пространственных характеристик новой формы. А. Раппапорт, изучавший метод преподавания Н. Ладовского, пришел к выводу, что в его основе следующее: для смысловой переориентации студентов, исключения из их сознания стереотипов и традиционных прототипов Ладовский делал упор на мануальную работу с массой, организующей вокруг себя пространство. Тактильные ощущения, которые включаются на самой первой стадии освоения пространства человеком, были поставлены во главу угла. Чтобы обострить эти ощущения, Ладовский запрещал вербальное общение, ученик должен был быть нем. Слово, понятие выключалось из процесса формообразования. Работали руки, их движения, жесты должны были творить новую форму.

Теоретической разработкой пространственной концепции занимался профессор ВХУТЕМАСа А. Габричевский. Он связал категорию «пространство» с категорией «масса», работающих как «позитив» и «негатив». Наиболее важным является, на наш взгляд, то, что А.Габричевский обратился в своих исследованиях пространства к феноменологии *движения* человеческого тела [6].

Здесь особенно отчетливо становится видна связь пространственной концепции рационалистов и Габричевского с программой итальянских футуристов, с их акцентом на динамику пространства. Проведенные нами на данной теоретической базе исследования [7] позволили выявить основное свойство пространства как материала архитектуры – его динамику, определяемую движением человека в окружающем мире.

Другую динамику исследовал в своей мастерской Татлин. Он также работал с формой, с материалом, но делал акцент на работу не столько человеческих рук, сколько самого материала – дерева, железа, камня, стекла и проч. Чтобы заставить материал работать, художник изъясил его из плоскости стены и поместил «между небом и землей». Так получились контр-рельефы, то есть оторванные от стены рельефы. Они заняли сначала угловое положение меж двух стен и, наконец, – вышли в пространство динамичной формой Башни Татлина, рассматриваемой как контр-рельеф повышенного типа. Здесь не только работа материала под нагрузкой, связанная с растяжением элементов сложной пространственной металлической решетки. Налицо динамика новых форм пространства – от наклонной мачты и взлетающих вокруг такой динамической вертикали спиралей до вращения целых зданий, подвешенных в «брюхе» пространственной решетки. Проявляется новый архетип – динамическая вертикаль, ориентированная к тому же, в отличие от мировой оси, на северную полярную звезду. Так, отклонение мачты Башни Татлина от вертикального положения связывается с географическим местом, на котором она возводится, с его широтой (подобно солнечным часам – гномону).

Таким образом культурная среда революционной эпохи создала новые формы и акцентировала само понятие «архитектурного пространства». Можно считать, что основная доля экспериментов проводилась в учебных мастерских, в рамках новой художественной школы.

Рубеж XX-XXI вв. в нашей стране также характеризуется сменой социально-политической ситуации. Если учесть, что в мире на этот период пришелся исторический этап развития постиндустриального общества с бумом информационных технологий, то в наличии ситуация не менее революционная, чем сложившаяся сто лет назад. Она неминуемо сказывается на системе архитектурно-художественного образования. Образовательная среда, включающая в себя массы молодежи, должна вновь сменить приоритеты, ключевые ориентиры и культурные ценности. Попробуем проследить, каковы они в рамках новой нарождающейся техногенной культуры.

Пространство, выступавшее в классической архитектуре как организованное человеком: как порядок, выстраиваемый языком архитектурных ордеров, или как космос авангардной архитектуры, полученный с помощью рафинированных, упрощенных форм – идеальных геометрических тел, – как оно представлено сегодня? Теперь, когда архитектура прошла от порядка к хаосу и обратно, сменив центральную категорию «пространство» последовательно на другие категории: «среда» в рамках средового подхода, «знак» или «культурный символ» в рамках подхода культурологического, «система» и «деятельность» в рамках проектного, методологического подхода, – мы вновь возвращаемся к категории «архитектурное пространство», понятие через его динамическую сущность.

Между тем в качестве учебной дисциплины «пространство» на сегодня востребовано далеко не каждой архитектурно-художественной школой. Преемственный к названной дисциплине курс «Объемно-пространственная композиция» (ОПК) в пензенской архитектурной школе сменяется курсом «композиционное моделирование». Будет ли это простым переименованием или вместе с именем мы потеряем существо предмета? Способны ли нынешние архитектурные школы определить принципы организации архитектурного пространства, возникающие в рамках новой, техногенной культуры?

Исследованием проблемы архитектурного пространства автор предложенной вашему вниманию статьи занимается на протяжении многих лет. Работа ведется в рамках системы высшего архитектурного образования. Именно здесь до сих пор транслировался профессиональный язык архитектора – пространственная организация с помощью классической ордерной системы, с одной стороны (в курсе «архитектурные ордера»), и с помощью абстрактных геометрических форм «линия, пятно, фигура, геометрическое тело» как преемников языка авангардного направления – с другой стороны (в курсе ОПК). Учебная программа этого типа сложилась в столичной архитектурной школе (МАрХИ) и принята региональными архитектурными школами,

в том числе и пензенской высшей архитектурно-художественной школой, где используется в течение 35 лет.

Проводимая сегодня образовательная реформа обращена, с одной стороны, на достижение цели унификации учебной программы и предоставления студентам возможности беспрепятственного перевода из школы в школу по мере смещения их интереса. С другой стороны, поставлена задача выявления региональных особенностей той или другой школы, сохранения их специфики, своего «лица». В таких условиях директивный метод внедрения дисциплин и методов, выработанных столичными архитектурно-художественными школами, отмечается. Этим ситуация сегодняшней образовательной реформы отличается от ситуации начала прошлого века.

Кроме того, в рамках профессии не сложилось пока нового, адекватного современному уровню развития общества и архитектуры понятия «архитектурного пространства». Оно остается многозначным. В подобных условиях сохраняется возможность выработки каждой региональной школой своей пространственной концепции.

Список литературы

1. Савин, О.М. Пензенское художественное...: Страницы истории старейшего учебного заведения России [Текст] / О.М. Савин – Пенза, 2005. – 600 с.
2. Димаков, Д.Н. Е.В.Равдель – первый ректор ВХУТЕМАСа. Биографический очерк [Текст] / Д.Н. Димаков // Пространство ВХУТЕМАС: Наследие. Традиции. Новации: материалы Всероссийской научной конференции. – М.: МАрХИ, МГХПА им. Строганова, 2010. – 420 с.
3. Лехари, К.Э. Организация архитектурного пространства как эстетическая проблема [Текст]: автореф. дис. ... канд. арх. / К.Э. Лехари. – М., 1972.
4. Хан-Магомедов, С.О. Архитектура советского авангарда [Текст] / С.О. Хан-Магомедов. – М.: Стройиздат, 1996. – 709 с.
5. Раппапорт, А.Г. Проблема пространства в современных архитектурных теоретических концепциях [Текст]: обзор / А.Г. Раппапорт. – М.: ЦНИИТИА, 1979. – 74 с.
6. Габричевский, А.Г. Теория и история архитектуры [Текст]: избр. соч. в 2 т. / А.Г. Габричевский. – Киев: Самватас, 1993. – Т.2. – 302 с.
7. Лапшина, Е.Г. Архитектурное пространство [Текст]: очерки / Е.Г. Лапшина. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 128 с.

References

1. Savin O.M. Penza Art ...: Historical pages of ancient graduate school in Russia. – Penza, 2005. – 600 p.
2. Dimakov D.N. E.V.Ravdel – first rector VHUTEMAS. Biography Essay // Space of VHUTEMAS: Heritage. Traditions. Novations: Materials of Russia science conference. – М.: MArhi, MSHPA of Stroganov, 2010. – 420 p.
3. Lehary K.E. Architectural space formation as esthetical problem: autoreferat of arch. kand. Diss. – М., 1972.
4. Han-Magometov S.O. Soviet Avant-garde Architecture. – М.: Stroyisdat, 1996. – 709 p.
5. Rappaport A.G. Space problem in modern theory conceptions. Review. – М.: CNITIA, 1979. – 74 p.
6. Gabrichevsky A.G. Theory and History of the Architecture. T.2. – Kiev: Samvatas, 1993. – 302 p.
7. Lapshina E.G. Architectural Space. Essay. – Penza: PSUAC, 2005. – 128 p.

УДК 008: 930.85

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Солманидина Наталья Викторовна,
кандидат философских наук, доцент
кафедры «Иностранные языки»
E-mail: solomona@mail.ru

Гринцова Ольга Васильевна,
кандидат филологических наук, доцент,
зав. кафедрой «Иностранные языки»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Solmanidina Natalya Victorovna,
Candidate of Philosophy, Associate professor
of the department «Foreign languages»
E-mail: solomona@mail

Grintsova Olga Vasilyevna,
Candidate of Philology, associate professor,
Head of the department «Foreign languages»

НОВЫЙ АСПЕКТ В ПРОЧТЕНИИ ТВОРЧЕСТВА В.О. КЛЮЧЕВСКОГО

Н.В. Солманидина, О.В. Гринцова

Рассмотрено творчество В. О. Ключевского в смысловых границах ментальной парадигмы. Сделан вывод, что становление национального менталитета неотделимо от исторического развития России и им определяется, что выводит изучение российской истории на уровень культурфилософского измерения.

Ключевые слова: менталитет, культурфилософская концепция, история России, культура России.

NEW ASPECT OF V.O.KLUCHEVSKY WORKS

N.V. Solmanidina, O.V. Grintsova

The key points of cultural philosophical concepts in M. O. Kluchevsky works are considered. It is concluded that the national mentality formation is inseparable from and is defined by historic development of Russia.

Keywords: mentality, culture philosophical concept, history of Russia, culture of Russia.

Мы живем на переломе столетий и тысячелетий, в период, когда перед Россией остро встала проблема поисков национальной идеи, без которой невозможно дальнейшее движение вперед. Глубокое понимание не только явлений настоящего, но и возможно более полное освоение отечественного культурного наследия, позволят осмысливать и дальнейшие перспективы развития истории и культуры России.

Имя Василия Осиповича Ключевского (1841 – 1911) является поистине одним из *ключевых* в русской культуре. Сегодня его труды изучают не только в России, но и переводят на многие европейские языки. Это и есть самая высокая оценка вклада русского ученого в историческую науку, в мировую сокровищницу культуры.

Несмотря на то, что явление Ключевского притягивает внимание исследователей и накопилась обширная литература, изучающая разные стороны его жизни и творчества, существует немало аспектов его наследия, явно недостаточно разработанных в науке. К ним относится культурфилософская проблематика произведений Ключевского. Среди отечественных и зарубежных историков трудно найти более проникательного и глубокого знатока особенностей мировосприятия русского народа, его хозяйственного и бытового уклада, православной духовности, истории просвещения.

Тема культуры, быта, традиций и обычаев народа прослеживается в творчестве Ключевского, начиная с самых первых произведений. Будучи студентом Московского университета, он написал кандидатское сочинение, посвященное истории Московской Руси – «Сказание иностранцев о Московском государстве» (1865). В дальнейшем

история русской культуры займет в творчестве Ключевского важное место. Он много размышлял над ее проблемами, что отразилось в «Курсе русской истории», в монографиях «Древнерусские жития святых как исторический источник» (1872), «Боярская дума Древней Руси» (1882) и в других работах. Начиная с 1880 г. Ключевским создано около двух десятков работ, посвященных проблемам истории русской культуры нового времени, ее выдающимся деятелям.

Ключевский не представил развернутого, хронологически последовательного изложения истории русской культуры. Однако характеристики, наблюдения, оценки, содержащиеся в его трудах, носят не случайный, ситуационный характер. За ними – определенная система взглядов на историко-культурный процесс в России или, по определению Б.И.Краснобаева, «концепция историка, которая не была у Ключевского чем-то застывшим и развивалась вместе с общей концепцией русской истории»[1].

Уже в своем кандидатском сочинении «Сказание иностранцев о Московском государстве» молодой историк выступил как блестящий исследователь древнерусского быта, традиций и обычаев. В двенадцати главах книги с различных сторон рисуется жизнь Московской Руси в течение трех столетий (XV- XVII вв.). Живой интерес к экономическим вопросам, внимание к социальной истории, а также элементы критики самодержавия были новыми явлениями в исторической науке того времени. Книга написана со строгой разборчивостью в материале и вместе с тем ярко, образно, с оттенком веселой иронии.

Другая сторона нравственной и религиозной жизни Древней Руси открылась Ключевскому при его длительной и кропотливой работе над житиями святых. Готовясь к присвоению профессорского звания, Ключевский в 1866 г. приступает к работе над крайне трудоемкой темой магистерской диссертации «Жития святых как исторический источник». Обилие разбросанной по монастырям «житийной литературы» и сравнительно невысокий ее информационный потенциал заставляли ученого буквально по крохам извлекать из нее сведения о реальных далеких событиях, как правило, утонувших в море фантастических описаний жизни святого. В поисках источников Ключевский посетил Казань, куда во время Крымской войны был перевезен архив Соловецкого монастыря.

Ключевский изучил не менее пяти тысяч житийных списков и установил до 250 редакций 157 житийских тем, касавшихся 166 имен святых. При этом он шел от понимания житий как источника исторических сведений к раскрытию более глубокого слоя, заложенного в этом памятнике, – слоя, воплотившего народное сознание, и далее – к изучению народного духа и быта, менталитета, сформированного под влиянием этих житий.

Сам Ключевский воспринимал такой исследовательский путь именно как углубление в материал, снятие его внешних слоев. Позже он сравнивал работу историографа с работой землекопа. Историк начинает изучение с верхнего слоя и только постепенно углубляется в наиболее сокровенные, глубоко лежащие слои «умственной истории». В формировании этого подхода прослеживается влияние Ф.И.Буслаева. Его главную заслугу Ключевский видел в том, что «в его ученом плане история литературы получила новый, научный склад и характер, из критико-библиографического обзора отдельных памятников письменности без внутренней связи, являвшихся более или менее удачными, но всегда случайными проявлениями личного творчества, история словесности превращалась в изображение течений литературного творчества с указанием их народных источников, картину стройного и последовательного развития народного духа и быта, насколько тот и другой отразились в памятниках устной и письменной словесности, и не только словесности, но и искусства» [2]. Ключевский прямо говорит, что испытал влияние этого исследовательского направления на самом себе: «Я помню, как оживился интерес к древнерусской рукописной литературе, и я раскрывал древнерусскую рукопись с нетерпеливой надеждой найти в ней свежие следы древнерусского народного быта и мышления» [3, с. 134].

Наиболее последовательно Ключевский прослеживает формирование российского народа и его ментальности в «Курсе русской истории». Историк начинает свои

рассуждения с того, что «исторический процесс вскрывается в явлениях человеческой жизни», которые «необразимо разнообразны», касаются международных отношений, внешней и внутренней жизни отдельных народов, деятельности отдельных лиц. «Все эти явления и складываются в великую жизненную борьбу, которую вело и ведет человечество, стремясь к условиям, им себе поставленным. От этой борьбы, постоянно меняющей свои приемы и характер, отлагается нечто более твердое и устойчивое: это – известный житейский порядок, строй людских отношений, интересов, понятий, чувств, нравов. Сложившегося порядка люди держатся, пока непрерывное движение исторической драмы не заменит его другим» [3, с. 34]. Во всех этих изменениях Ключевского занимают два основных предмета – история культуры и историческая социология.

В понимании Ключевского культура – это «накопление опытов, знаний, потребностей, привычек, житейских удобств, улучшающих, с одной стороны, частную личную жизнь отдельного человека, а с другой, – устанавливающих и совершенствующих отношения между людьми – словом, выработка человека и человеческого общежития – таков один предмет исторического изучения. Степень этой выработки, достигнутую тем или иным народом, обыкновенно называют его *культурой* или *цивилизацией* ...» [3, с. 34].

Ключевский подчеркивает очень важную мысль о единстве культуры, о единой мировой культуре. Ключевский при изучении «местной» (русской) истории декларирует главнейшим не культурологический, а «социологический», по его терминологии (речь идет о социальной философии), подход.

Преподавая в различных учебных заведениях, В.О.Ключевский читал курсы не только по истории России, но и по всеобщей истории, и он не мог не задуматься о месте России в общеисторическом процессе. Следует подчеркнуть, что вопреки установившейся в русской буржуазной науке традиции рассматривать историю России как явление исключительно самобытное, В.О.Ключевский укладывал ее в общее русло истории всеобщей. По его мнению, изучая историю, можно сформулировать общесоциологические положения. «Из науки о том, как строилось человеческое общежитие, – считал он, – сможет со временем – и это будет торжеством исторической науки – выработаться и общая социологическая часть ее – наука об *общих* законах строения человеческих обществ» [3, с. 39]. Таким образом, В.О.Ключевский только ставил перед собой общую социально-философскую проблему закономерностей развития истории и культуры, концентрировал внимание на «местной истории» (по его терминологии), исследование которой позволяло уловить общие закономерности исторического процесса.

Историк делает чрезвычайно важный вывод о влиянии места и времени («хронотопа» по М.М.Бахтину) на то, что мы называем сегодня менталитетом народа: «Всеобщая история создавалась ... отдельными народами или группами немногих народов, которые преемственно сменялись при разнообразном местном и временном подборе сил и условий, нигде более не повторявшихся. ... по условиям своего земного бытия человеческая природа как в отдельных лицах, так и в целых народах раскрывается не вся вдруг, целиком, а частично и прерывисто, подчиняясь обстоятельствам места и времени» [3, с. 37].

Отчего, по мнению Ключевского, зависят особенности менталитета разных народов? Что влияет на его формирование? Ключевский делает справедливый вывод, что тайна исторического процесса – не в странах и народах, по крайней мере, не исключительно в них самих, в их внутренних постоянных, данных раз навсегда особенностях, а в сочетаниях внутренних и внешних условий развития. Какие же условия развития видит историк? Он различает две основные первичные силы, создающие и движущие совместную жизнь людей: «человеческий дух» и «внешняя, или так называемая физическая природа». «Человеческий дух» в понимании Ключевского – это и индивидуальная человеческая личность и человеческое общество. Он утверждает преобладающую роль не личности, а общества для формирования менталитета: «Общество составляется из лиц; но лица, составляющие общество, сами

по себе каждое – далеко не то, что все они вместе, в составе общества: здесь они усиленно проявляют одни свойства и скрывают другие, развивают стремления, которым нет места в одинокой жизни, посредством сложения личных сил производят действия, непосильные для каждого сотрудника в отдельности». Что касается физической природы, то она так же, как и общество, нигде и никогда не действует на все человечество одинаково, отчего зависят местные особенности людей. Под местными особенностями Ключевский понимает не расы, а «преимущественно бытовые условия и духовные особенности, какие вырабатываются в людских массах под очевидным влиянием окружающей природы и совокупность которых составляет то, что мы называем *народным темпераментом*» [3, с. 40].

Знаменитый вывод великого историка, что человеческая *личность*, людское *общество* и *природа страны* – вот те три основные исторические силы, которые строят людское общежитие и, соответственно, добавим мы, формируют его менталитет. Ключевский считает, что каждая из указанных выше трех сил вносит в состав «человеческого общежития» свой запас элементов, или связей, в которых проявляется ее деятельность и которыми завязываются и держатся людские союзы. В соответствии с основными свойствами и потребностями человека историк подразделяет эти элементы на *физиологические* – пол, возраст, кровное родство; *экономические* – труд, капитал, кредит; *юридические и политические* – власть, закон, право, обязанности; *духовные* – религия, наука, искусство, нравственное чувство.

Таким образом, «человеческое общежитие» складывается из вышеперечисленных элементов, но этого явно недостаточно, поэтому оно должно еще чем-то соединяться, поддерживаться. По мнению историка, эту функцию соединения играет *общение*: «Без общих понятий и усилий, без разделяемых всеми или большинством чувств, интересов и стремлений люди не могут составить прочного общества; чем больше возникает таких связей и чем больше получают они власти над волей соединяемых ими людей, тем общество становится прочнее. Устаиваясь и твердея от времени, эти связи превращаются в нравы и обычаи».

Общение возможно не только между отдельными людьми, но и между разными поколениями: это Ключевский называет «*историческим преемством*». Оно заключается в том, что достояние одного поколения – материальное и духовное – передается другому поколению. Средствами передачи этого культурного достояния являются *наследование и воспитание*: «Время закрепляет усвоенное наследие новой нравственной связью, историческим *преданием*, которое, действуя из поколения в поколение, претворяет наследуемые от отцов и дедов заветы и блага в наследственные свойства и склонности потомков. Так из отдельных лиц составляются постоянные союзы, переживающие личные существования и образующие более или менее сложные *исторические типы*» [3, с. 41].

На какой ступени развития общества можно говорить о сформировавшемся менталитете народа? Для ответа на этот вопрос уместно воспользоваться схемой социально-исторического процесса, которой пользовался и Ключевский. Ключевский видит этот процесс следующим образом: «Преемственной связью поколений выработывалась цепь союзов, все более усложнявшихся вследствие того, что в дальнейшие союзы последовательно входили новые элементы вторичного образования, возникавшие из взаимодействия первичных. На физиологических основах кровной связи строилась первобытная *семья*. Семьи, пошедшие от одного корня, образовывали *род*, другой кровный союз, в состав которого входили уже религиозные и юридические элементы, почитание родоначальника, авторитет старейшины, общее имущество, круговая самооборона (родовая месть). Род через нарождение разрастался в *племя*, генетически связь которого выражалась в единстве языка, в общих обычаях и преданиях, а из племени или племен, посредством разделения, соединения и ассимиляции составлялся *народ*, когда к связям этнографическим присоединялась нравственная, сознание духовного единства, воспитанное общей жизнью и совокупной деятельностью, общностью исторических судеб и интересов. Наконец, народ становился *государством*, когда чувство национального единства получает выражение в связях

политических, в единстве верховной власти и закона. В государстве народ становится не только политической, но и исторической личностью *с более или менее ясно выраженным национальным характером и сознанием своего мирового значения*» [3, с. 41-42]. Следовательно, опираясь на рассуждения Ключевского, можно заключить, что ментальные предпосылки складываются в менталитет лишь тогда, когда на определенной территории складывается та или иная народность.

Список литературы

1. Краснобаев, Б.И. В.О. Ключевский о русской культуре XVII–XIX веков [Текст] / Б.И. Краснобаев // История СССР. – 1981. – № 5. – С. 132.
2. Ключевский, В.О. Сочинения [Текст]: В 8 т. / В.О. Ключевский. – М.: Изд-во полит. лит-ры, 1956; 1959. – Т. 8. – С.292.
3. Ключевский, В.О. Сочинения [Текст]: В 9 т. / В.О. Ключевский – М.: Мысль, 1987. – Т.1. – 382 с.

References

1. Krasnobayev B.I. V.O.Kluchevsky about Russian culture of the 17-19th centuries// History of the USSR. – № 5. – P. 132.
2. Kluchevsky V.O. Collected Works: In 8 volumes. – M: Izdatelstvo polit. literatury. – 1956-1959. – V.8 – P. 292.
3. Kluchevsky V.O. Collected Works: In 9 volumes. – M: Mysl. – V.1 – 1987. – 380 p.