

*На правах рукописи*

КУЗНЕЦОВА НАТАЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА

**УЛУЧШЕНИЕ ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА  
НАРУЖНЫХ СТЕН ЦЕХОВ  
ПО ПРОИЗВОДСТВУ ФОСФОРНЫХ СОЛЕЙ**

Специальность 05.23.01 – Строительные конструкции,  
здания и сооружения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Пенза 2002

Работа выполнена в Тамбовском государственном техническом университете.

**Научный руководитель:** член-корреспондент МИА,  
доктор технических наук, профессор  
**ЕЗЕРСКИЙ** Валерий Александрович

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**ОВЧИННИКОВ** Игорь Георгиевич  
кандидат технических наук, профессор  
**БЕРЕГОВОЙ** Александр Маркович

**Ведущая организация:** **ОАО «Тамбовхимпромстрой»**

Защита состоится 30 октября 2002 года в 13<sup>30</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.184.01 в Пензенской государственной архитектурно-строительной академии по адресу:  
г. Пенза, ул. Г. Титова, 28, ПГСА, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пензенской государственной архитектурно-строительной академии.

Автореферат разослан 28 сентября 2002 года.

Отзывы на автореферат диссертации в двух экземплярах, скрепленные гербовой печатью, просим направлять по адресу:  
440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28, ПГСА, диссертационный совет Д 212.184.01, ученому секретарю.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 212.184.01



**В. А. Худяков**

---

Подписано в печать 24.09.2002  
Гарнитура Times New Roman. Формат 60×84/16  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем: 1,16 усл. печ. л.; 1,1 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз. С. 591

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14  
**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность проблемы.** Наружные ограждающие конструкции цехов промышленных предприятий, кроме температурно-влажностных воздействий, подвержены влиянию производственной среды. На ряде производств, технологический процесс которых сопровождается выделениями пыли и аэрозолей водорастворимых и гигроскопических солей, эти соли осаждаются на внутренней и наружной поверхностях стен. Вследствие высокой проникающей способности в виде растворов и аэрозолей соли накапливаются в поровом пространстве стеновых материалов.

Накопление солей в стеновых материалах приводит к изменению их теплофизических свойств и способствует наступлению отказов ограждений по эксплуатационным качествам. Наиболее интенсивные воздействия на наружные ограждающие конструкции наблюдаются в зданиях цехов предприятий химической промышленности и производства минеральных удобрений и технических солей. В этих зданиях наблюдается переувлажнение наружных стен, снижение их теплозащитных качеств и разрушение поверхностных слоев.

Наличие некоторых солей в стеновых материалах приводит к повышению их сорбционной способности, изменяет величины коэффициентов паропроницаемости и влагопроводности; теплопроводность материалов, содержащих кристаллы солей, повышается. В настоящее время разработаны методики теплотехнического и влажностного расчетов наружных стен при воздействии хлористых, азотнокислых и сульфатных солей. Однако данные о влиянии фосфорных солей на изменение теплофизических характеристик стеновых материалов практически отсутствуют. Это затрудняет выбор мероприятий по

защите наружных стен от переувлажнения на предприятиях, перерабатывающих фосфорные соли. Также не разработаны обоснованные мероприятия по сохранению эксплуатационных качеств ограждающих конструкций, учитывающие воздействие солевой среды указанных производств.

Работа выполнена в соответствии с планом госбюджетных научно-исследовательских работ на 1996 – 2001 гг. кафедр архитектурно-строительного факультета Тамбовского государственного технического университета по темам: «Исследование архитектурной среды городов, эксплуатационных качеств, надежности и долговечности зданий и сооружений в Центрально-Черноземном регионе», шифр 5Г/96 и «Разработка теоретических основ расчета элементов зданий и сооружений на силовые, влажностные и акустические воздействия», шифр 5Г/99.

**Целью диссертационной работы** является повышение эксплуатационной надежности наружных стен цехов по производству фосфорных солей на основе комплексного изучения соленакопления в существующих стенах и влияния солей на влажностные характеристики стеновых материалов, а также обоснованного выбора защитных мероприятий, обеспечивающих улучшение влажностного режима этих стен.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- исследовать условия эксплуатации и состояние наружных ограждающих конструкций цехов по производству фосфорных солей, а также установить закономерности соленакопления в этих стенах (на примере цехов аммофоса, двойного суперфосфата и тринатрийфосфата заводов «УФОС» и ОАО «Воскресенские минеральные удобрения»);
- экспериментально исследовать характер влияния солей, составляющих производственную среду указанных предприятий, на сорбционные свойства капиллярно-пористого материала;
- исследовать и математически описать зависимость сорбционного влагосодержания основных стеновых материалов, содержащих соли в виде смесей переменного состава, от относительной влажности воздуха и солесодержания;
- построить математическое описание предельно допустимого состояния увлажнения для основных материалов в наружных стенах цехов по производству фосфорных солей;
- экспериментально исследовать возможность повышения сопротивления паропрооницанию внутренних слоев наружных стен за счет введения добавок фосфорных солей в штукатурные растворы;
- разработать практические предложения по выбору способов защиты наружных стен цехов по производству фосфорных солей (вновь возводимых и эксплуатируемых), обеспечивающих улучшение влажностного режима этих стен.

**Научная новизна работы:**

- на основании экспериментальных исследований получены новые данные о характере влияния некоторых фосфорных солей на повышение сорбционного влагосодержания модельного материала (пористого керамического кирпича  $\gamma_0 = 910 \text{ кг/м}^3$ );
- решена задача определения сорбционной влажности материалов, содержащих двухкомпонентную солевую смесь  $\text{Na}_3\text{PO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3$  переменного состава; для основных стеновых материалов – глиняного кирпича  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ , цементно-песчаного раствора  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$  и минераловатных плит  $\gamma_0 = 125 \text{ кг/м}^3$  – получены математические зависимости сорбционного влагосодержания от относительной влажности воздуха, массового солесодержания и массовой доли каждой из солей в смеси;
- построено математическое описание предельно допустимого состояния увлажнения кирпичной кладки и минераловатных плит как материалов наружных стен цеха тринатрийфосфата (ТНФ);
- установлена возможность снижения паропрооницаемости внутреннего слоя наружных стен вновь возводимых цехов путем введения добавок фосфорных солей, а также повышения парозащиты внутренней поверхности эксплуатируемых наружных стен с помощью пропитки суспензией дикальцийфосфата (ДКФ).

**Практическое значение работы:**

- установлены предельно допустимые условия эксплуатации наружных кирпичных стен цеха ТНФ, включающие допустимые значения относительной упругости водяных паров и солесодержания кирпичной кладки и минераловатных плит (для климатических условий г. Воскресенска);
- предложена методика выбора защитных покрытий для наружных стен, подверженных воздействию солевой производственной среды цехов ТНФ;
- для вновь возводимых цехов по производству ТНФ предложены мероприятия по снижению паропрооницаемости внутренних слоев наружных стен путем применения штукатурки с добавкой фосфорных солей;
- для эксплуатируемых цехов ТНФ предложены мероприятия по повышению парозащиты наружных стен с помощью пропитки суспензией дикальцийфосфата.

**Внедрение результатов работы.** Результаты работы в виде методики выбора защитных покрытий, описания предельно допустимых условий эксплуатации наружных стен цехов ТНФ, вариантов устройства дополнительного утепления, а также мероприятий по повышению сопротивления паропрооницанию внутренних слоев наружных стен с помощью применения штукатурки с добавкой фосфорных солей и пропитки суспензией дикальцийфосфата внедрены при проведении реконструкции цеха ТНФ ОАО «Воскресенские минеральные удобрения».

**На защиту выносятся:**

- результаты натурных исследований влаго- и солесодержания материалов наружных стен цехов по производству фосфорных солей (заводы «УФОС», ОАО «Воскресенские минеральные удобрения»);
- результаты экспериментальных исследований сорбционного увлажнения капиллярно-пористого материала (пористого керамического кирпича  $\gamma_0 = 910 \text{ кг/м}^3$ ), содержащего соли  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  и  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , а также основных стеновых материалов (глиняного кирпича  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ , цементно-песчаного раствора  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$  и минераловатных плит  $\gamma_0 = 125 \text{ кг/м}^3$ ), содержащих смеси солей  $\text{Na}_3\text{PO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3$ ;
- математические зависимости сорбционного влагосодержания основных стеновых материалов, содержащих смеси солей  $\text{Na}_3\text{PO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3$  переменного состава, от относительной влажности воздуха и солесодержания;
- результаты экспериментального исследования паропрооницаемости цементно-песчаного раствора  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$  с добавкой фосфорных солей – тринатрийфосфата и динатрийфосфата;

– результаты экспериментального исследования паропроницаемости цементно-песчаного раствора  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ , засоленного тринатрийфосфатом, с пропиткой дикальцийфосфатом.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на:

– Шестой научно-технической конференции «Проблемы строительной теплофизики систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях» в НИИСФ (г. Москва), 2001 г.;

– Седьмых академических чтений РААСН «Современные проблемы строительного материаловедения» в БГТАСМ (г. Белгород), 2001 г.;

– Международной научно-технической конференции «Эффективные строительные конструкции: теория и практика» в ПГАСА (г. Пенза), 2002 г.;

– XV Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» в ТГТУ (г. Тамбов), 2002 г.;

– ежегодных научно-технических конференциях в Тамбовском государственном техническом университете (г. Тамбов), 1996 – 2002 гг.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 177 наименований и 2 приложений. Работа изложена на 160 страницах, включает 19 таблиц и 35 рисунков.

Работа выполнена на кафедре «Архитектура и строительство зданий» Тамбовского государственного технического университета.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен обзор литературных источников, посвященных исследованиям эксплуатационных качеств наружных ограждающих конструкций зданий с солевой производственной средой. Анализируются результаты натурных исследований В. А. Обьедкова, О. В. Дегтярева, А. М. Берегового, В. И. Бареева, В. А. Езерского, Р. Ф. Соловьевой, Г. Ф. Лукьянова, В. Г. Хитрова и др., характеризующие состояние воздушной среды и наружных стен зданий, подверженных воздействию гигроскопических солей. Авторами установлено наличие в стеновых материалах солей различного химического и фазового составов, а также характер распределения солей по толщине стен. При этом отмечается наличие повреждений поверхностных слоев ограждений. На основании работ В. М. Москвина, А. М. Минаса, В. И. Бабушкина, М. М. Субботкина, И. Н. Ахвердова и др. проанализированы причины разрушения стеновых материалов при наличии в них солей. Наряду с соленакоплением и разрушением поверхностных слоев, отмечается повышенная влажность стеновых материалов и увеличение величины теплового потока через засоленные стены. О влиянии фосфорных солей на тепловлажностное состояние наружных стен имеется ограниченная информация в виде описаний результатов натурных исследований таких стен.

Влияние солей на теплофизические свойства стеновых материалов рассматривается в работах А. М. Берегового, О. В. Дегтярева, В. И. Бареева, В. А. Езерского, М. Набиева, Г. Ш. Шукурова. Отмечается, что наличие хлористых и азотнокислых солей в порах стеновых материалов приводит, прежде всего, к повышению сорбционной влажности материалов, а также снижению коэффициентов паропроницаемости и влагонепроницаемости. Приводятся данные В. А. Езерского и Т. Ф. Ельчищевой о влиянии содержания солей и влаги на изменение коэффициента теплопроводности стеновых материалов. В то же время практически отсутствуют сведения об изменении теплофизических характеристик стеновых материалов при воздействии фосфорных солей.

Вопросам защиты наружных ограждающих конструкций при воздействии солей посвящены работы В. М. Москвина, Ф. М. Иванова, В. В. Шнейдеровой, В. И. Бареева и др. Для защиты внутренней поверхности наружных стен авторами рекомендуется применение лакокрасочных покрытий, обладающих влаго- и соленапроницаемостью. Ограничение соленакопления через наружную поверхность обеспечивается пропиткой поверхностных слоев наружных стен гидрофобизирующими составами.

В работах В. И. Соломатова, В. Л. Чернявского, Ю. М. Баженова и др. отмечается, что повышение плотности, влаго- и соленапроницаемости поверхностных слоев ограждений можно обеспечить с помощью применения различных добавок в штукатурные растворы: полимерных, неорганических солей, минеральных и др. Однако возможность использования для этих целей добавок фосфорных солей не рассматривалась. В настоящее время для наружных стен цехов по производству фосфорных солей не предложена оптимальная схема защиты и не разработана методика выбора защитных покрытий, обладающих необходимой пароизоляцией и соленапроницаемостью, а также обеспечивающих улучшение влажностного режима этих стен.

Решению перечисленных вопросов посвящено настоящее исследование.

Во **второй главе** излагаются методики натурных и лабораторных исследований.

В качестве объектов натурных исследований были выбраны производственные здания цехов тринатрийфосфата (ТНФ) и аммофос-1 ОАО «Воскресенские минеральные удобрения» (г. Воскресенск Московской обл.), а также цехов аммофоса и двойного суперфосфата завода «УФОС» (г. Уварово Тамбовской обл.).

Приводится методика натурных исследований состояния и условий эксплуатации наружных стен: визуального осмотра; определения параметров микроклимата; отбора проб, определения влагосодержания (термогравиметрическим методом) и солесодержания (количественное определение содержания ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  в водной вытяжке) стенового материала.

Лабораторные исследования сорбционного увлажнения стеновых материалов, содержащих соли, проводились эксикаторным методом при изотермических условиях (ГОСТ 24816–81). Количество и вид солей, вводимых в образцы, принимались с учетом результатов анализа проб стенового материала в реальных условиях эксплуатации цехов.

Экспериментальное определение коэффициента паропроницаемости цементно-песчаного раствора, содержащего соли (с добавкой ТНФ и ДНФ, а также засоленного ТНФ с пропиткой ДКФ), проводилось с использованием методики на основе стандартной (ГОСТ 25898–83) при исключении возможности образования конденсата в толще и на поверхности образцов.

Для исследования характера влияния солей  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  на сорбционные свойства определялось сорбционное влагосодержание пористого керамического кирпича  $\gamma_0 = 910 \text{ кг/м}^3$  при изменении относительной

влажности воздуха  $\varphi_b$  (40; 60; 80; 90 и 98 %) и солесодержании материала  $c$  (0; 2 и 4 %).

Исследование сорбционного увлажнения основных стеновых материалов в условиях солевой производственной среды цеха ТНФ проводилось на основе экспериментально-статистического подхода. С этой целью для глиняного кирпича  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ , цементно-песчаного раствора  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$  и минераловатных плит  $\gamma_0 = 125 \text{ кг/м}^3$ , содержащих бинарные смеси солей  $\text{Na}_3\text{PO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3$  переменного состава, строились математические описания зависимости сорбционного влагосодержания ( $y$ ) от относительной влажности воздуха ( $x_1$ ), массового солесодержания материала ( $x_2$ ) и массовой доли каждой из солей в смеси ( $z_1 - \text{Na}_3\text{PO}_4$ ;  $z_2 - \text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Факторы изменялись в пределах:  $\tilde{x}_1$  – от 60 до 98 %;  $\tilde{x}_2$  – от 0,5 до 3,5 %;  $z_1, z_2$  – от 0 до 1.

**Предполагалось, что зависимость сорбционного влагосодержания стеновых материалов от смесевых факторов ( $z_1$  и  $z_2$ ) может быть описана приведенным полиномом неполного третьего порядка, коэффициенты которого зависят от значений уровней эксплуатационных факторов ( $x_1$  и  $x_2$ ) и описываются, в свою очередь, полиномом второго порядка. Таким образом, для каждого материала искалась модель вида:**

$$\hat{y} = \beta_1(x_1, x_2)z_1 + \beta_2(x_1, x_2)z_2 + \beta_{12}(x_1, x_2)z_1z_2 + \gamma_{12}(x_1, x_2)z_1z_2(z_1 - z_2). \quad (1)$$

В соответствии со структурой предполагаемой модели применялось двухъярусное планирование эксперимента, при этом план на диаграммах «состав–свойство» (для смесевых факторов) объединялся с факторным планом (для эксплуатационных факторов).

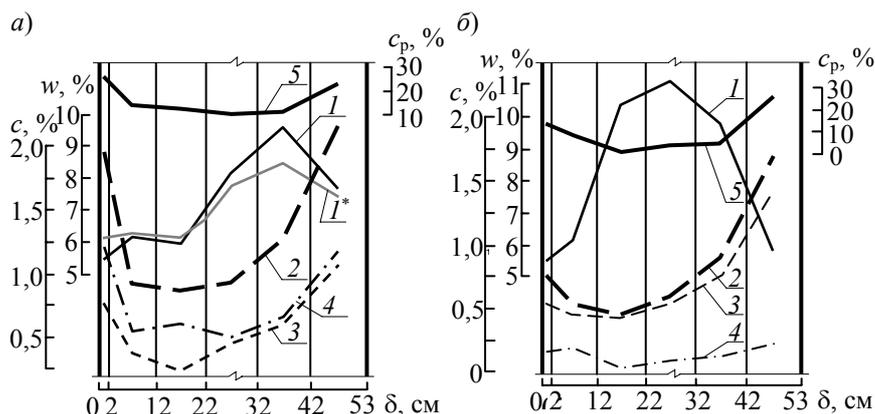
Применение планирования эксперимента позволило сократить количество опытов и одновременно повысить точность оценки влияния рассматриваемых факторов на  $y$ .

В **третьей главе** приводятся результаты натурных исследований наружных стен цехов по производству фосфорных солей.

Наружные ограждающие конструкции цеха ТНФ эксплуатируются во влажном ( $t_b = 18 \dots 22 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_b = 65 \dots 70 \%$ ), цехов аммофоса и двойного суперфосфата – в мокром ( $t_b = 13 \dots 26 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_b = 65 \dots 85 \%$ ) режимах.

Наружные кирпичные стены и поверхностные слои керамзитобетонных панелей исследуемых цехов имеют значительные повреждения. Выявлены многочисленные участки кирпичной кладки цехов ТНФ и аммофос-1, покрытые высолами и мокрыми пятнами. В воздушную среду производственных помещений выделяются соли в виде пылевидных и аэрозольных частиц, концентрация которых достигает  $8,7 \text{ мг/м}^3$  в цехе ТНФ и  $13,9 \text{ мг/м}^3$  в цехах аммофоса. Запыленность территорий заводов составляет  $1,2 \dots 3,0 \text{ мг/м}^3$ .

Влажный и мокрый режимы эксплуатации ограждений при наличии солевой производственной среды способствуют накоплению солей в стеновых материалах. Установлено, что среднее солесодержание наружных кирпичных стен отделений цеха ТНФ при сроке эксплуатации 4 года составляет  $0,48 \dots 1,27 \%$ , максимальное достигает  $2,24 \%$ . Наибольшее количество солей отмечается во внешних слоях наружной и внутренней части стен (рис. 1). Влажность засоленного материала во всех случаях превышала нормируемые СНиП П-3-79\* значения. Среднее значение влагосодержания кирпичной кладки к концу периода влагонакопления составило  $5,9 \dots 10,5 \%$ , максимальное –  $8,1 \dots 14,1 \%$ . Наибольшие значения влагосодержания отмечались в сечениях, близких к плоскости возможной конденсации (ПВК) или в средней части стены (рис. 1). Влажность стенового



**Рис. 1 Распределение влаги  $w$  и солей  $c$  по толщине  $\delta$  кирпичной стены отделений цеха ТНФ:**

*a* – нейтрализации 2-й степени; *b* – кристаллизации ТНФ;

1 – кривая распределения влаги в апреле 1999 г.; 1\* – то же, в августе 1999 г.;

2 – кривая распределения общего количества солей;

3 – то же, тринатрийфосфата; 4 – то же, кальцинированной соды;

5 – кривая изменения массовой концентрации растворов солей  $c_p$

материала повышалась с увеличением количества солей в порах. Химический состав солей в стеновых материалах, в основном, соответствует составу растворов или кристаллических продуктов, находящихся в технологическом оборудовании. В частности, в кирпичной кладке отделения нейтрализации 2-й степени цеха ТНФ содержатся ТНФ и кальцинированная сода (КС); массовые доли этих солей в смеси на участке вблизи сборников-выпарителей составляют:  $\text{Na}_3\text{PO}_4 - 0,9$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3 - 0,1$ ; вблизи нейтрализаторов –  $0,2$  и  $0,8$  соответственно. Фазовый состав солей представлен насыщенными

растворами в толще стен, а также кристаллической солью в поверхностных слоях (рис. 1).

Влажностный режим керамзитобетонных панелей цехов аммофоса и двойного суперфосфата завода «УФОС» при значительных сроках эксплуатации (25 и 30 лет) является благоприятным. Средняя величина влагосодержания стенового материала этих цехов в зимний период составила 6,6 и 4,3 % при среднем солесодержании 2,62 ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) и 1,57 % ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ) соответственно. Соли распределены по сечению стен неравномерно, причем количество солей в поверхностных слоях значительно превышает солесодержание в толще. Средняя влажность керамзитобетонных панелей цеха аммофос-1 ОАО «Воскресенские минеральные удобрения» после 25 лет эксплуатации составила 5,2 %; среднее солесодержание – 1,29 %. В кирпичных вставках этого же цеха содержание солей оказалось значительно выше, чем в керамзитобетонных панелях и составило 2,89 %; средняя влажность кладки к концу периода влагонакопления достигла 11,5 %, что свидетельствует о ее переувлажнении. Выявленные различия в значениях влажности стеновых материалов объясняются различными механизмами воздействия рассматриваемых солей на бетон и кирпичную кладку.

Повышенная влажность стеновых материалов в условиях солевого воздействия делает недопустимым эксплуатацию наружных стен без мероприятий по ограничению влаго- и соленакопления. Защита ограждений в виде гидрофобизации наружной поверхности и внутреннего лакокрасочного покрытия позволяет снизить скорость соленакопления в 12 ... 14 раз. Учитывая это, а также данные об ориентировочной скорости накопления солей в стенах рассматриваемых цехов, установлены значения прогнозируемого солесодержания стеновых материалов вновь возводимых зданий к концу расчетного срока эксплуатации (50 лет). Для кирпичной кладки отделения нейтрализации 2-й ступени оно равно 1,2 %.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований сорбционного увлажнения стеновых материалов, содержащих фосфорные соли, а также смеси солей  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ – $\text{Na}_2\text{CO}_3$  переменного состава.

Проведено исследование качественного и количественного влияния солей  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  на сорбционное влагосодержание  $w$ , %, модельного капиллярно-пористого материала (пористого керамического кирпича  $\gamma_0 = 910 \text{ кг/м}^3$ ) при изменении относительной влажности воздуха  $\varphi_{\text{в}}$  (40; 60; 80; 90 и 98 %) и содержании солей  $c$ , %, в порах материала (0; 2 и 4 %). Установлено, что при значениях  $\varphi_{\text{в}}$ , не превышающих величин гигроскопических точек  $\varphi_{\text{р}}$  рассматриваемых солей (в порах материала имеет место полимолекулярная адсорбция), влияние различных солей на  $w$  практически одинаково (рис. 2). При повышении  $\varphi_{\text{в}}$  до значений  $\varphi_{\text{р}}$  солей, которые составляют для  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ –91,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ –95,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ –89,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ –92 %, сорбционное влагосодержание засоленных материалов увеличивается за счет осмотического эффекта, обусловленного понижением упругости водяных паров над поверхностью образующихся солевых растворов. В результате дисперсионного анализа установлено, что при  $\varphi_{\text{в}} = 98 \%$  и  $c = 4 \%$  фактор вид соли оказывает значимое влияние на сорбционное влагосодержание пористого кирпича. Получено, что эффекты влияния вида соли на  $w$  при этих значениях  $\varphi_{\text{в}}$  и  $c$  различаются статистически значимо. По степени влияния на  $w$  исследуемые соли располагаются в ряд:

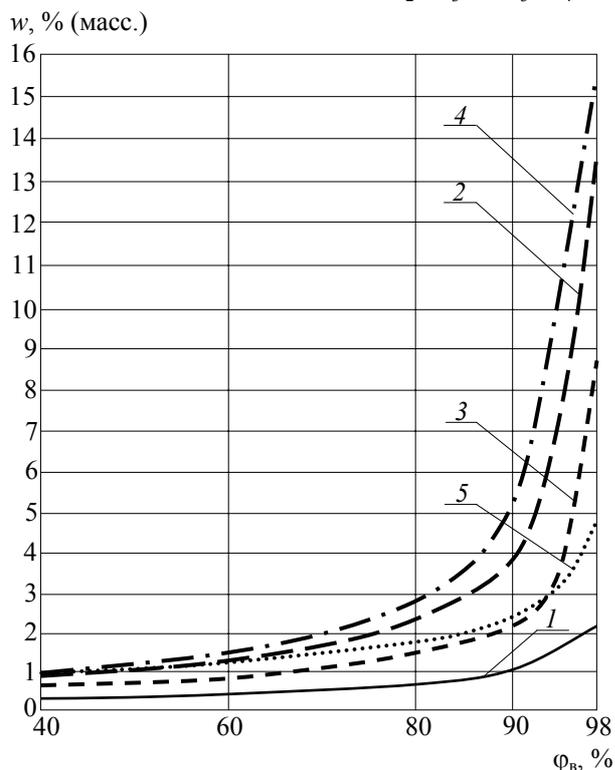


Рис. 2 Сорбционное влагосодержание  $w$  пористого керамического кирпича  $\gamma_0 = 910 \text{ кг/м}^3$  с массовым солесодержанием  $c = 4 \%$  в зависимости от относительной влажности воздуха  $\varphi_{\text{в}}$ :

1 – незасоленные образцы; 2 – при засолении  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ;  
3 – то же,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ; 4 – то же,  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ; 5 – то же,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

Различие во влиянии рассматриваемых солей, имеющих близкие значения гигроскопических точек, на сорбционное влагосодержание материала определяется видом их аниона.

По результатам эксперимента для кирпича глиняного  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ , цементно-песчаного раствора  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$  и минераловатных плит  $\gamma_0 = 125 \text{ кг/м}^3$  с помощью регрессионного анализа были рассчитаны параметры моделей (1). Проверка адекватности полученных моделей с помощью  $t$ -критерия Стьюдента показала, что они адекватно описывают процесс сорбции материалов в рассматриваемой области факторного пространства. Учитывая массовое соотношение кирпича и цементно-песчаного раствора в конструкции стены 3 : 1 и полагая справедливость принципа аддитивности, из рассчитанных моделей получено обобщенное математическое описание зависимости сорбционного влагосодержания  $y$  для кирпичной кладки от относительной влажности воздуха  $x_1$ , содержания солей  $x_2$  и массовой доли каждой из солей в смеси ( $z_1 - \text{Na}_3\text{PO}_4$ ;  $z_2 - \text{Na}_2\text{CO}_3$ ) вида:

$$\hat{y}_{\text{кк}} = (1,59 + 3,00x_1 + 1,35x_2 + 1,43x_1x_2 + 2,63x_1^2 + 0,28x_2^2)z_1 + (1,75 + 4,19x_1 + 2,19x_2 + 2,35x_1x_2 + 4,32x_1^2 + 0,22x_2^2)z_2 + (0,45 + 0,16x_1 + 0,50x_2 + 0,50x_1x_2 + 0,47x_1^2 - 0,54x_2^2)z_1z_2 + (1,71 - 0,83x_1 - 0,95x_2 - 1,31x_1x_2 - 1,33x_1^2 - 1,89x_2^2)z_1z_2(z_1 - z_2). \quad (2)$$

Подставляя выявленные в результате натурных исследований усредненные значения смесевых факторов ( $z_1 = 0,2$ ;  $z_2 = 0,8$ ) в выражение (2), получено следующее описание сорбционного увлажнения кирпичной кладки наружных стен отделения нейтрализации 2-й ступени (вблизи нейтрализаторов) цеха ТНФ:

$$y_{\text{кк}} = 0,93 + 3,91x_1 + 2,84x_2 + 2,24x_1x_2 + 4,47x_1^2 - 0,33x_2^2. \quad (3)$$

Принимая во внимание расчетное и предельно допустимое значения эксплуатационного влагосодержания стенового материала (для кирпичной кладки эти значения согласно СНиП П-3-79\* равны соответственно 2 и 3,5 %), с помощью выражения (3) получено математическое описание предельно допустимого состояния увлажнения кирпичной кладки в наружных стенах отделения нейтрализации 2-й ступени (вблизи нейтрализаторов):

- из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации

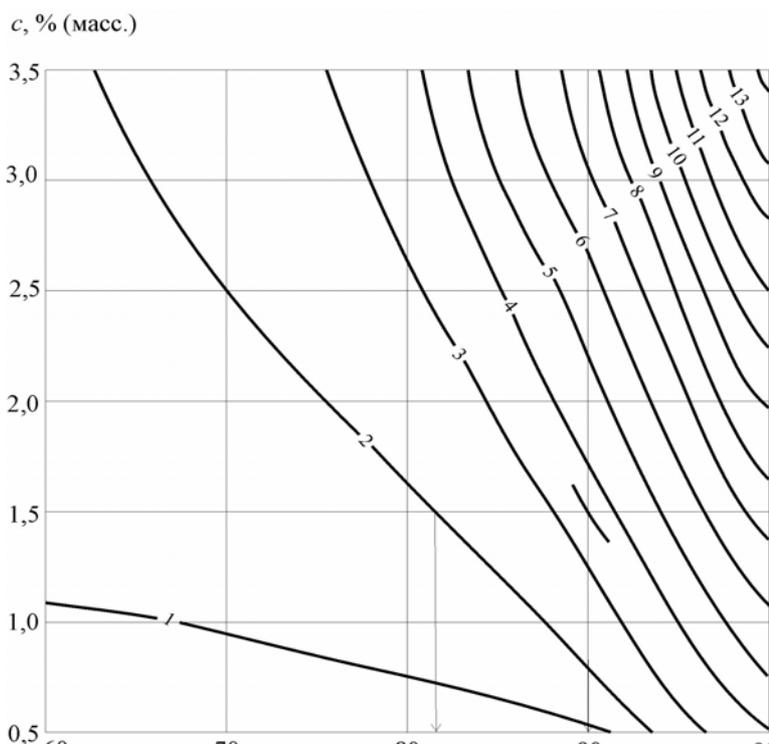
$$0,93 + 3,91x_1 + 2,84x_2 + 2,24x_1x_2 + 4,47x_1^2 - 0,33x_2^2 \leq 2; \quad (4)$$

- из условия ограничения влаги за период влагонакопления

$$0,93 + 3,91x_1 + 2,84x_2 + 2,24x_1x_2 + 4,47x_1^2 - 0,33x_2^2 \leq 3,5. \quad (5)$$

Полученные зависимости описывают предельно допустимые условия эксплуатации наружных стен из условий обеспечения требуемых теплозащитных качеств (4) и недопустимости переувлажнения (5). С помощью этих неравенств при известном солесодержании  $c(x_2)$  можно рассчитать допустимую относительную влажность воздуха в поровом пространстве  $\varphi_{\text{в}}(x_1)$ , которой соответствует предельно допустимое влагосодержание стенового материала. Это значение  $\varphi_{\text{в}}$  соответствует относительной влажности воздуха над внутривыводным солевым раствором некоторой концентрации, т.е. величине его гигроскопической точки  $\varphi_{\text{р}}$ . Для использования в практических расчетах построены графики зависимости  $w = f(\varphi_{\text{в}}, c)$  при фиксированных значениях смесевых факторов (рис. 3).

Изложенный подход позволяет учитывать реальную концентрацию солевого раствора в порах материала и, тем самым, повышает точность определения  $\varphi_{\text{р}}$  и соответственно величины понижения максимальной упругости водяного пара над раствором при данной температуре.



### Рис. 3 Изолинии сорбционного влагосодержания кирпичной кладки

при изменении относительной влажности воздуха  $\varphi$ , и  
массового солесодержания  $c$  в стенах цеха ТНФ

(при значениях смесевых факторов  $z_1$  ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) – 0,2;  $z_2$  ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) – 0,8)

В **пятой главе** рассматриваются мероприятия по улучшению влажностного режима наружных ограждающих конструкций цехов по производству фосфорных солей.

Основной схемой защиты наружных стен в условиях воздействия солей является совмещенное гидрофобно-лакокрасочное покрытие внутренней и гидрофобизация наружной поверхности. Для определения вида и толщины внутреннего покрытия требуется выполнение расчета паропроницаемости. Предложена методика расчета сопротивления паропропусканию защитного покрытия с учетом влияния солевой среды цеха ТНФ.

В соответствии с этой методикой, учитывая расчетное (фактическое или прогнозируемое) солесодержание стенового материала, с помощью описаний предельно допустимого состояния увлажнения определяются величины  $\varphi_{p1}$  из выражения (4) и  $\varphi_{p2}$  из выражения (5).

При содержании в материале смеси солей  $\text{Na}_3\text{PO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3$  значения максимальных упругостей водяного пара над поверхностью раствора в ПВК за годовой период эксплуатации  $E_p$  и период влагонакопления  $E_{p0}$  рассчитываются по формулам:

$$E_{pi} = 0,01 E_i \varphi_p,$$

где  $E_i$  – максимальная упругость водяного пара над поверхностью воды, Па;  $\varphi_p$  – относительная влажность воздуха в порах материала, %, равная  $\varphi_{p1}$  при расчете  $E_{pi}$  ( $i = 1, 2, 3$ ) или  $\varphi_{p2}$  – при расчете  $E_{p0}$ .

Заменяя  $E_i$  на  $E_{pi}$ , рассчитываются требуемые сопротивления паропропусканию из условия недопустимости накопления влаги за годовой период  $R_{п1}^{\text{TP}}$  и ограничения влаги за период влагонакопления  $R_{п2}^{\text{TP}}$ .

Сравнивая значение  $R_{п}$  с  $R_{п1}^{\text{TP}}$  и  $R_{п2}^{\text{TP}}$ , выявляется необходимость в дополнительной парозащите внутренней поверхности стен. Требуемое сопротивление паропропусканию защитного покрытия определяется по формуле:

$$r_{п} = R_{п\text{max}}^{\text{TP}} - R_{п},$$

где  $R_{п\text{max}}^{\text{TP}}$  – наибольшее значение из  $R_{п1}^{\text{TP}}$  и  $R_{п2}^{\text{TP}}$ .

Значения  $R_{п}$ ,  $E_i$ ,  $R_{п1}^{\text{TP}}$ ,  $R_{п2}^{\text{TP}}$  с учетом оговоренных уточнений рассчитываются по формулам СНиП II-3-79\*.

Требуемое сопротивление паропропусканию пароизоляционного покрытия  $r_{п}$  наружных стен рассчитывалось с учетом периода эксплуатации зданий. Для вновь возводимых цехов ТНФ  $R_{п1}^{\text{TP}}$  и  $R_{п2}^{\text{TP}}$  рассчитывались с учетом прогнозируемого солесодержания стеновых материалов к концу расчетного срока эксплуатации здания.

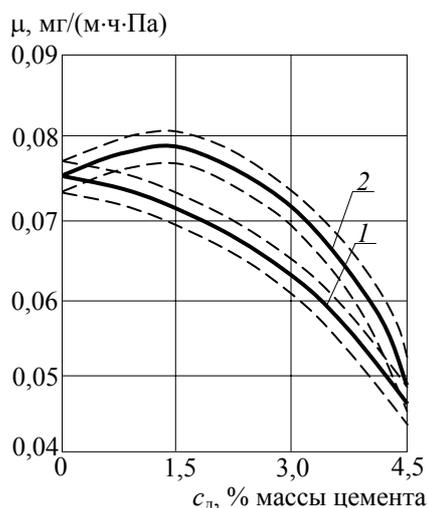
Выполненные расчеты для принятой конструкции наружных стен (наружные и внутренние слои из кирпичной кладки и заключенный между ними утеплитель из минераловатных плит) показали, что  $r_{п}$  оказалось равным  $1,82 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ , т.е. требуется дополнительная парозащита. В качестве материалов для пароизоляции рекомендованы покрытия толщиной 200 мкм: наиритовое НТ, хлоркаучуковое КЧТС, хлорполиэтиленовое ХП-799 с  $R_{п\text{ин}}$ , равными соответственно 2,51; 2,84 и 2,97  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ . Эти покрытия являются химически и трещиностойкими, срок их службы составляет 6 ... 8 лет.

Наряду с лакокрасочными покрытиями, для повышения сопротивления паропропусканию внутренней поверхности наружных стен рассматривалась возможность применения цементно-песчаной штукатурки с добавкой фосфорных солей. Для этого проводилось экспериментальное определение коэффициента паропроницаемости  $\mu$  цементно-песчаного раствора  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг} / \text{м}^3$  с добавкой ТНФ ( $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) и ДНФ ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) в количестве 0; 1,5; 3,0 и 4,5 % от массы цемента.

Выявлено, что при небольшом количестве добавки ДНФ (1,5 % от массы цемента) происходит незначительное увеличение  $\mu$  цементно-песчаного раствора (рис. 4), что объясняется некоторым повышением сорбционной влажности материала с добавкой соли. Повышение количества вводимых добавок ТНФ и ДНФ до 4,5 % от массы цемента приводит к существенному снижению  $\mu$  по сравнению с не содержащими добавки образцами: на 37,3 и 34,7 % соответственно. В результате химического взаимодействия добавок с составляющими цементного клинкера образуются труднорастворимые соединения, в частности  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , которые способствуют формированию экранирующих пленок на частицах вяжущего и коагуляции пор, что вызывает понижение  $\mu$  цементно-песчаного раствора с добавкой. Применение цементно-песчаного раствора с добавкой ТНФ и ДНФ в количестве 4,5 % от массы цемента в качестве внутреннего пароизоляционного слоя наружных стен вновь возводимых цехов ТНФ позволит уменьшить требуемое значение  $r_n$  покрытия соответственно на 0,43 и 0,41  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ . В этом случае в качестве дополнительного внутреннего лакокрасочного покрытия может быть применено покрытие ВН-30 толщиной 200 мкм с  $R_{\text{пн}} = 1,45 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ .

Для наружных стен эксплуатируемых цехов ТНФ, имеющих недостаточный по сравнению с требуемым уровень теплозащиты, рассчитывалась величина дополнительной теплоизоляции, устройство которой в совокупности с необходимой парозащитой внутренней поверхности позволит улучшить влажностный режим этих стен. При влажном режиме эксплуатации ограждений принята конструкция с наружным утеплением стен и вентилируемой воздушной прослойкой между утеплителем и защитным экраном. Для устройства дополнительной теплоизоляции используются экран, профили и крепежные элементы, выполненные из стеклопластика или пластмассовые, так как они не должны подвергаться в процессе эксплуатации солевой коррозии.

На основании графоаналитического метода К. Ф. Фокина для эксплуатируемых утепленных наружных стен определялось  $r_n$  внутреннего пароизоляционного покрытия. Значения максимальной упругости водяного пара над внутрипоровым солевым раствором  $E_p$  определялись с учетом зависимостей на рис. 3 при солесодержании материала 1,2 (в натуральных условиях); 2,0; 2,5 и 3,0 %. Установлено, что при солесодержании кирпичной кладки 3 % требуется применение покрытий с минимальным значением  $r_n$ , равным 1,00  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ , таких как: винилацетиленового ВН-30 (200 мкм), хлорполиэтиленового ХП-799 (100 мкм) с  $R_{\text{пн}}$ , равными соответственно 1,45 и 1,19  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ .



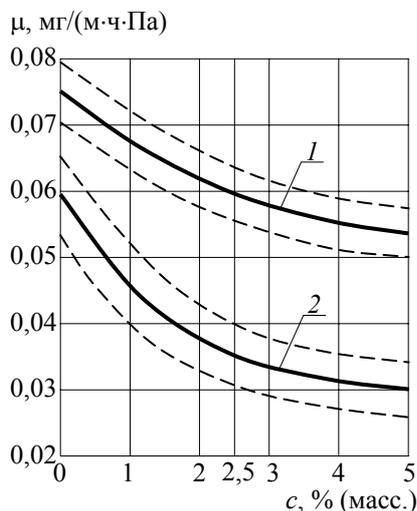
**Рис. 4 Коэффициент**

**паропроницаемости  $\mu$  цементно-песчаного раствора  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$**

**в зависимости от**

**количества добавки  $s_d$ :**

**1 – добавка ТНФ; 2 – то же, ДНФ**



**Рис. 5 Коэффициент**

**паропроницаемости  $\mu$  цементно-песчаного раствора  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ , засоленного ТНФ, в зависимости от наличия пропитки ДКФ:**

**1 – без пропитки; 2 – с пропиткой ДКФ**

Однако присутствие солей на внутренней поверхности эксплуатируемых стен затрудняет устройство лакокрасочного покрытия. В такой ситуации для повышения парозащиты ограждений предлагается использовать пропитку внутренней поверхности засоленной цементно-песчаной штукатурки суспензией ДКФ. Проводилось экспериментальное исследование влияния пропитки ДКФ ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) на  $\mu$  цементно-песчаного раствора, засоленного ТНФ ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ), при солесодержании образцов 0; 2,5 и 5,0 % (масс.). Установлено, что применение пропитки ДКФ приводит к снижению  $\mu$  как засоленных, так и незасоленных образцов. При наличии пропитки большее понижение  $\mu$  наблюдается у образцов, содержащих соли, например, при  $s = 5\%$  – на 44,4 % (по сравнению с образцами без пропитки), в то время как для цементно-песчаного раствора без солей  $\mu$  снижается только на 21,3 % (рис. 5). В результате применения пропитки ДКФ цементно-песчаного раствора, содержащего ТНФ, происходит уплотнение его структуры выделяющимися из раствора кристаллами ТНФ и практически нерастворимыми новообразованиями (трикальцийфосфатом), что и обуславливает наблюдаемое снижение  $\mu$  пропитанных образцов. При среднем солесодержании стенового материала 2,5 и 3 % требуемое  $r_n$  внутреннего защитного покрытия может быть снижено соответственно на 0,56 и 0,59  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ . Нормальный влажностный режим ограждения обеспечивается в первом случае за счет применения только пропитки ДКФ; при  $s = 3\%$  наряду с пропиткой требуется нанесение покрытия ВН-30 (100 мкм) с  $R_{\text{пн}} = 0,87 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ .

Выполнен расчет годового баланса влаги в наружных стенах (вновь возводимых и эксплуатируемых), который показал, что с учетом предлагаемых вариантов парозащиты накопления влаги за годовой период в ограждении не происходит.

В результате экономической оценки установлено, что применение предлагаемых вариантов устройства парозащиты вновь возводимых (штукатурка с добавкой ТНФ и ВН-30, 200 мкм) и эксплуатируемых (пропитка ДКФ и ВН-30, 100 мкм) наружных стен позволяет уменьшить суммарные затраты при их эксплуатации по сравнению с традиционными лакокрасочными покрытиями соответственно на 9,5 ... 24,5 и 26,5 ... 49,8 %. Экономия тепловой энергии при устройстве утепления наружных стен цеха ТНФ составляет в год 14,2 ГДж на 100 м<sup>2</sup> поверхности. Срок окупаемости инвестиций на утепление – 10 лет. Расчеты выполнены в ценах марта 2002 г.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Наружные ограждающие конструкции цехов по производству фосфорных солей подвержены воздействию солевой пыли и аэрозолей, содержащихся в воздушной среде цехов и на территории предприятий в количестве до 13,9 мг/м<sup>3</sup>. Состояние керамзитобетонных и кирпичных наружных стен цехов аммофоса, двойного суперфосфата и ТНФ заводов «УФОС» и ОАО «Воскресенские минеральные удобрения» характеризуется наличием мокрых пятен, высолов и повреждений поверхностных слоев. Влажный (для цеха ТНФ) и мокрый (для цехов аммофоса и двойного суперфосфата) режимы эксплуатации ограждений при наличии солевой производственной среды способствуют накоплению солей в стеновых материалах.

2. На основании результатов натурных исследований установлено, что в наружных кирпичных стенах цеха ТНФ присутствуют соли Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Среднее массовое солесодержание стенового материала составляет 0,48 ... 1,27 % (при сроке эксплуатации 4 года). Скорость соленакопления для различных отделений цеха ТНФ находится в пределах 0,12 ... 0,30 % в год. В керамзитобетонных панелях цехов аммофоса и двойного суперфосфата при сроках эксплуатации 25 и 30 лет соли (NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> и Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) распределены по сечению неравномерно, наибольшее их количество содержится в поверхностных слоях – до 5,10 %. Установлено повышенное влагосодержание стеновых материалов, содержащих соли. Средняя влажность кирпичной кладки цеха ТНФ к концу периода влагонакопления достигает 10,5 %.

3. Экспериментально установлено, что наличие фосфорных солей в поровом пространстве пористого керамического кирпича повышает его сорбционное влагосодержание. Выявлено, что по степени этого влияния исследуемые соли располагаются в следующий ряд: Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> > Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> > Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> > NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. Различия во влиянии солей, имеющих близкие значения гигроскопических точек, на сорбционную влажность определяется видом их аниона.

4. На основании результатов эксперимента построены математические зависимости сорбционного увлажнения глиняного кирпича  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ , цементно-песчаного раствора  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$  и минераловатных плит  $\gamma_0 = 125 \text{ кг/м}^3$ , содержащих двухкомпонентные солевые смеси Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> – Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, от относительной влажности воздуха, содержания солей и массовой доли каждой из солей в смеси. Для отделений цеха ТНФ с учетом конкретизированных смесевых факторов получены описания зависимости сорбционного влагосодержания основных стеновых материалов (кирпичной кладки  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$  и минераловатных плит  $\gamma_0 = 125 \text{ кг/м}^3$ ), соответствующие условиям эксплуатации наружных стен этих отделений.

5. Для наружных стен отделений цехов ТНФ с учетом условий ограничения накопления влаги за годовой период и период влагонакопления построены математические описания предельно допустимого состояния увлажнения стеновых материалов (кирпичной кладки  $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$  и минераловатных плит  $\gamma_0 = 125 \text{ кг/м}^3$ ), которые позволяют при известном солесодержании рассчитать максимально допустимую относительную упругость водяных паров в толще стен.

6. На основании описаний предельно допустимого состояния увлажнения стеновых материалов предложена методика выбора парозащитных покрытий наружных стен цехов ТНФ. В соответствии с этой методикой, используя данные о прогнозируемом или фактическом солесодержании стеновых материалов, с учетом требований защиты от солевой коррозии подобрана внутренняя парозащита наружных стен на основе лакокрасочных материалов, обеспечивающая допустимое значение упругости водяных паров в толще стен. Установлено, что для сохранения нормального влажностного режима вновь возводимых наружных стен цехов ТНФ требуется применение покрытий с минимальным сопротивлением паропрооницанию 1,82 м<sup>2</sup>·ч·Па/мг; для эксплуатируемых стен тех же цехов при солесодержании 3 % – 1,00 м<sup>2</sup>·ч·Па/мг. Предложена схема защиты наружных стен вновь возводимых цехов ТНФ; для эксплуатируемых стен разработан вариант их дополнительного утепления.

7. Экспериментально установлена возможность повышения парозащиты внутренних слоев наружных стен за счет применения цементно-песчаной штукатурки с добавкой фосфорных солей – динатрийфосфата и тринатрийфосфата. Установлено, что введение указанных солей в цементно-песчаный раствор в количестве 4,5 % от массы цемента приводит к снижению его коэффициента паропрооницаемости на 35 ... 37 %, что позволяет уменьшить требуемое значение сопротивления паропрооницанию защитного покрытия на 0,41 ... 0,43 м<sup>2</sup>·ч·Па/мг.

8. Экспериментально подтверждена эффективность использования пропитки суспензией дикальцийфосфата внутренней поверхности цементно-песчаной штукатурки эксплуатируемых (засоленных) наружных стен цехов ТНФ с целью повышения их парозащиты. Установлено, что при среднем солесодержании цементно-песчаной штукатурки наружных стен 3 % за счет применения пропитки сопротивление паропрооницанию внутреннего защитного покрытия может быть снижено на 0,59 м<sup>2</sup>·ч·Па/мг.

9. Предлагаемые варианты защиты и дополнительного утепления эксплуатируемых наружных стен рекомендованы к внедрению при проведении реконструкции цеха ТНФ ОАО «Воскресенские минеральные удобрения». Общая сметная стоимость утепления 100 м<sup>2</sup> поверхности наружных стен составляет 24,42 тыс. руб. (в ценах марта 2002 г.); общая трудоемкость – 28,1 чел.-дн. Срок окупаемости инвестиций – 10 лет.

#### Основное содержание работы отражено в следующих печатных публикациях:

1. Езерский В. А., Кузнецова Н. В. Воздействие производственной среды цеха ТНФ АОТ «Воскресенские минеральные удобрения» на наружные ограждающие конструкции // Труды ТГТУ: Сб. науч. статей молодых ученых и студентов. Вып. 5. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. С. 206 – 210.

2. Езерский В. А., Кузнецова Н. В., Свиначев А. А. Условия эксплуатации и состояние ограждающих конструкций цехов Уваровского химического завода // Труды ТГТУ: Сб. науч. статей молодых ученых и студентов. Вып. 4. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1999. С. 119 – 123.

3. Кузнецова Н. В. Особенности воздействия фосфорных солей на долговечность ограждающих конструкций производственных цехов // Труды ТГТУ: Сб. науч. статей молодых ученых и студентов. Вып. 10. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. С. 91 – 95.
4. Езерский В. А., Кузнецова Н. В. Исследование сорбционного влагосодержания пористой керамики в присутствии фосфорных солей // Материалы VI научной конференции. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. С. 180 – 181.
5. Езерский В. А., Кузнецова Н. В. Сорбционное влагосодержание пористого керамического кирпича, содержащего фосфорные соли // Проблемы строительной теплофизики систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях: Сб. докл. Шестой науч.-практ. конф. М.: НИИСФ, 2001. С. 280 – 285.
6. Езерский В. А., Кузнецова Н. В. Сорбционное увлажнение стенового материала с учетом влияния фосфорных солей // Труды ТГТУ: Сб. науч. статей молодых ученых и студентов. Вып. 10. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. С. 30 – 35.
7. Езерский В. А., Кузнецова Н. В. Планирование эксперимента при оценке сорбционного влагосодержания стеновых материалов, содержащих смеси солей // V научная конференция: Краткие тезисы докладов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. С. 209 – 210.
8. Езерский В. А., Кузнецова Н. В. Исследование сорбционной влажности кирпичной кладки, содержащей смеси солей // VII научная конференция: Пленарные доклады и тезисы стендовых докладов. Ч. 1. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. С. 35 – 36.
9. Езерский В. А., Кузнецова Н. В. Влияние добавок фосфатов натрия на коэффициент паропроницаемости цементно-песчаного раствора // Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы Седьмых академических чтений РААСН. Ч. 1. Белгород: Белгор. гос. техн. акад. строит. мат., 2001. С. 130 – 132.
10. Езерский В. А., Кузнецова Н. В. Сорбционное увлажнение минераловатных плит, содержащих двухкомпонентную солевую смесь // Эффективные строительные конструкции: Теория и практика: Сборник статей Междунар. науч.-техн. конф. Пенза: Пенз. гос. арх.-строит. акад., 2002. С. 398 – 401.
11. Езерский В. А., Кузнецова Н. В. Математическое моделирование процесса сорбционного увлажнения стенового материала, содержащего соли // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XV Междунар. науч. конф. Т. 10. Секция 10. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. С. 44 – 45.
12. Езерский В. А., Кузнецова Н. В. Обеспечение нормального влажностного режима наружных стен при воздействии солей // Труды ТГТУ: Сб. науч. статей молодых ученых и студентов. Вып. 12. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. С. 15 – 19.
13. Езерский В. А., Кузнецова Н. В. Прогнозирование сорбционной влажности кирпичной кладки, содержащей смеси солей // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2002. № 9. С. 12 – 13.
14. Езерский В. А., Ельчищева Т. Ф., Кузнецова Н. В. Особенности архитектурно-конструктивных решений промышленных зданий с солевой производственной средой // Труды в области архитектуры и строительства: Сб. науч. статей. Вып. 1. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. С. 116 – 119.