

$$y_3(t) = K_Z C_S^{0,5} \prod_{i=1}^5 \eta_i (\chi t)^{0,28}, \quad (11)$$

$$\prod_{i=1}^3 \eta_i = \eta_k \eta_B \eta_C \eta_f \eta_w, \quad (12)$$

$$y_2(t) = K_Z C_S^{0,5} \prod_{i=1}^5 \eta_i [(\chi t)^{0,28} - (\chi t_{ch,2})^{0,28}], \quad (13)$$

$$t_{ch,2} = \left( \frac{Q_{SO_4}}{K_q C_S^{0,5} \prod_{i=1}^3 \eta_i} \right)^2 \chi^{-1} \quad (14)$$

В формулах (9-14):  $t$  – продолжительность воздействия раствора, содержащего сульфаты, год;  $t_{ch,2}$  – время до начала разрушения поверхностного слоя бетона, год;  $\chi$  – размерный коэффициент, год<sup>-1</sup>;  $K_Z$ ,  $K_q$  – константы процесса сульфатной коррозии:  $K_q = 0,05$  (л/мг)<sup>0,5</sup>;  $K_Z = 0,02$  (л/мг)<sup>0,5</sup>·см;  $C_S$  – концентрация  $SO_4^{2-}$ , мг/л;  $\eta_i$  – коэффициенты, учитывающие влияние факторов на параметры кинетики сульфатной коррозии бетона.

Более подробное описание расчета и значения всех экспериментальных коэффициентов приведено в работе [8].

Таким образом, зная характеристики бетона конструкций заглубленных зданий, агрессивность среды возможно запроектировать конструкцию с учетом первичной защиты от коррозии на заданный срок эксплуатации здания.

### Выводы

Все заглубленные здания в силу специфики своего расположения эксплуатируются в условиях воздействия внешних агрессивных сред.

Для заглубленных зданий характерно влияние жидких сульфатных сред, содержащихся в грунтовых водах Украины, в связи с этим, конструкции, которые граничат с окружающим их грунтом должны проектироваться только с учетом первичной защиты от коррозии на заданный срок эксплуатации здания.

Для учета воздействия сульфатной агрессивной среды на прочностные характеристики железобетонных конструкций заглубленных зданий предложены кинетические зависимости, учитывающие развитие сульфатной коррозии в бетоне и которые можно использовать при проектировании конструкций заглубленных зданий.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Т.А. Маркус, Э.Н. Моррис. Здания, климат, энергия. Пер. с англ. под ред. Н.В. Кобышевой, Е.Г. Малявиной. - Ленинград, Гидрометеоздат, 1985. - 544 с.
2. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии. Нормы проектирования / Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1986, - 48 с.
3. Краснюк Т.В. Оптимизация первичной защиты арматуры железобетонных конструкций в агрессивных газовых средах. Дисс...канд. техн. наук.–Дн-ск, 2001.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. – К.: Держбуд України, 2006.
5. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат, 1985. - 79 с.
6. Савицкий Н.В. Основы расчета надежности железобетонных конструкций в агрессивных средах, Дисс. ... докт. техн.наук. – Дн-ск, 1994.
7. Коррозия железобетонных конструкций в агрессивных средах и методы восстановления их эксплуатационной пригодности/ Арбузова О.А., Гарбар Н.Ю., Савицкий Н.В., Никифорова Т.Д./ Сб. научн. тр. ПГАСА: Строительство, материаловедение, машиностроение. - № 45, ч.4. – Дн-ск, ПГАСА, 2008. – С. 62 – 63.
8. Пунагин В.Н., Приходько А.П., Савицкий Н.В. Долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций. - Киев УМК ВО 1988, 105 с.
9. Алексеев С.Н, Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П.. Долговечность железобетона в агрессивных средах - М.: Стройиздат, 1990.- 320 с.
10. Тытюк А.А. Долговечность железобетонных изгибаемых элементов в жидких сульфатных средах. Дис... канд. техн. наук. - М., 1990. - 226 с.

### УДК 69.059.7

#### ОЦЕНКА УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ

д.т.н., проф. Павлов И.Д., к.т.н., доц. Терех М.Д.,  
к.т.н., доц. Арутюнян И.А.

Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье

**Постановка проблемы.** В связи с повышением нормативных значений термического сопротивления ограждающих конструкций жилых зданий актуальным становится вопрос поиска таких конструктивных решений, которые бы отвечали действующим требованиям. Выполнение этого достигается утеплением ограждающих конструкций теплоизоляционными материалами, которые должны защищаться от наружных воздействий защитно-декоративным слоем, способным при необходимости сохранить или улучшить архитектурно-художественный облик здания или помещения.

В практике устройства дополнительной теплозащиты стен существуют следующие основные способы ее расположения: с наружной или внутренней стороны стены, а также в середине стенового ограждения. Также встречается конструктивно-технологическое решение устройства теплозащиты зданий с расположением утеплителя с наружной и внутренней стороны стены

одновременно.

Огромное количество современных теплоизоляционных материалов, наличие большого числа систем теплозащиты ограждающих конструкций зданий и сооружений, технологии и организации производства теплоизоляционных работ привели к необходимости проведения технико-экономического обоснования принимаемых решений по теплоизоляции зданий.

**Связь с научными и практическими заданиями и анализ последних исследований и публикаций.** Оценкой конструктивных и организационно-технологических решений и исследованиями технологичности в строительном производстве занимались Гусаков А.А. [1], Булгаков С.Н. [4], Завадскас Э.К. [5], Олейник П.П., Кирнос В.М., Черненко В.К., Цай Т.Н., Тянь Р.Б., Уваров Е.П., Афанасьев А.А., Шрейбер А.К., Шрейбер К.А., Монастырев П.В. [3], Фоков Р.И. и ряд других ученых. Среди имеющихся методик оценки проектных решений следует обратить особое внимание на методы, использующие системотехнические принципы.

**Формулировка целей.** Исследование технологичности теплоизоляционных работ с разработкой экономико-математической модели, позволяющей выявить и оценить влияние показателей технологичности на технико-экономические показатели.

**Основной материал исследований.** Несмотря на высокий уровень развития науки и техники, методы технико-экономического обоснования позволяют оценить тот или проект только по истечении некоторого времени после окончания работ. Одним из методик выбора эффективных решений в строительном производстве является оценка технологичности проектов.

Под технологичностью понимается "совокупность технических свойств объемно-конструктивных решений строительных объектов, характеризующих их соответствие требованиям строительного производства и эксплуатации" [1].

Системотехническое проектирование объектов, отвечающим требованиям действующих нормативных документов, должно учитывать не только вопросы этапа производства работ, но и последующую эксплуатацию здания с соблюдением все время повышающихся требований к энергосбережению в жилищно-коммунальном секторе экономики страны. Поэтому технологичность проекта ставится одной из главных характеристик, позволяющей связать в одно целое технические и экономические показатели, а также весь жизненный цикл объекта.

За технологичность проекта термореновации принимается комплексная характеристика устройства ограждающих конструкций зданий и сооружений с учетом их последующей эксплуатации.

Для исследования технологичности теплоизоляционных работ принята следующая методика, которая включает в себя:

- принятие системы технико-экономических показателей, которые будут отражать эффективность проектов термореновации;
- выбор системы показателей технологичности, которые будут описывать конструктивные и организационно-технологические решения по производству теплоизоляционных работ, а также условия эксплуатации;

- разработку экономико-математической модели, которая позволит выявить и оценить влияние показателей технологичности на технико-экономические показатели;

- формирование совокупности вариантов конструктивных и организационно-технологических решений по устройству ограждающих конструкций с повышенным сопротивлением теплопередаче;

- исследование технологичности теплоизоляционных работ на основе полученной экономико-математической модели на примере устройства дополнительной теплоизоляции жилых зданий старой застройки (практическая реализация разработанной модели).

В настоящее время оценку эффективности термореновации жилых и гражданских зданий следует вести на основе расчетов совокупной дисконтированной стоимости проекта дополнительной теплоизоляции. Наряду с существованием нормативных значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, проектирование ограждающих конструкций можно вести, определяя оптимальные значения сопротивления теплопередаче, что позволит получить минимум совокупных затрат при строительстве и эксплуатации ограждающих конструкций. Показателем эффективности проекта термореновации ограждающих конструкций зданий служат совокупные затраты, которые учитывают экономические показатели производства работ и экономические показатели эксплуатации здания в будущем.

Показатели технологичности должны наиболее полно описывать данный технологический процесс и оказывать существенное влияние на экономические показатели.

Основным вопросом оценки проекта является определение весовости отдельных показателей в общей комплексной оценке.

В ходе проведенного исследования рассматривались следующие показатели технологичности  $X_i$ :

$X_1$  - термическое сопротивление ограждающей конструкции до утепления  $R_1, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ ;

$X_2$  - термическое сопротивление ограждающей конструкции после утепления  $R_2, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ ;

$X_3$  - количество градусо-суток отопительного периода  $Z = (t_b - t_{o.n}) \cdot N_{o.n.}$ , град.-сут.;

$X_4$  - теплопроводность утеплителя  $\lambda_{ут}, \text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$ ;

$X_5$  - стоимость утеплителя  $C_{ут}, \text{грн} / \text{м}^3$ ;

$X_6$  - стоимость тепловой энергии  $C_t, \text{грн} / \text{Гкал}$ ;

$X_7$  - количество процессов  $n$ ;

$X_8$  - количество захваток  $k$ ;

$X_9$  - площадь утепления  $S, \text{м}^2$ ;

$X_{10}$  - стоимость отделки  $C_{отл}, \text{грн} / \text{м}^2$ ;

$X_{11}$  - стоимость ремонта  $C_{рем}, \text{грн} / \text{м}^2$ ;

$X_{12}$  - срок эксплуатации  $T$ , лет;

$X_{13}$  - дисконтная ставка  $r$ ;

$X_{14}$  - стоимость монтажа утепления  $C_{мон}, \text{грн} / \text{м}^2$ .

Для построения экономико-математической модели применялся корреляционно-регрессионный анализ [2].

Приведение показателей технологичности в нормальный масштаб позволило выразить их в сопоставимых единицах, выявить и сравнить влияющие факторы, имеющих различную размерность. Коэффициенты полученного уравнения регрессии (1) позволяют судить о степени влияния каждого из показателей технологичности на экономический показатель:

$$Y(C) = -128,92 - 59,02X_1 + 5,62X_2 + 34,91X_3 - 2,29X_4 - 15,34X_5 + 7,12X_6 + 13,56X_7 - 2,07X_8 - 6,05X_9 - 100,24X_{10} - 20,63X_{11} + 4,72X_{12} - 14,32X_{13} - 10,34X_{14} \quad (1)$$

Наибольшее влияние на эффективность проекта термореновации (совокупные затраты) оказывают термическое сопротивление ограждающей конструкции до утепления  $R_1$ , количество градусо-суток отопительного периода  $Z$ , стоимость отделки  $C_{отд}$ .

Разработанная экономико-математическая модель оценки технологичности проекта термореновации зданий или сооружений позволяет при вариантном проектировании дополнительной теплозащиты определить экономическую эффективность каждого из них и принять к производству наиболее эффективный. Показатели технологичности, используемые в модели, учитывают конструктивные, организационно-технологические решения вариантов повышения термического сопротивления ограждающих конструкций зданий и сооружений, а также условия дальнейшей эксплуатации данных ограждений, что позволяет дать комплексную оценку проекту термореновации зданий.

Высокие корреляционные соотношения позволяют использовать уравнения для предварительной оценки (прогнозирования) эффективности проекта производства теплоизоляционных работ по показателям технологичности.

Системотехническая проработка технико-экономического обоснования вариантов теплоизоляции ведет к повышению качества проектных решений. Дополнительные затраты на проработку проектных решений позже компенсируются за счет получаемого экономического эффекта, который во много раз может превосходить эти затраты.

Обобщенным комплексным показателем технологичности устройства дополнительной теплоизоляции может служить следующий показатель  $K_T$  (2), по которому учитываются все затраты на возведения теплоизоляционного слоя и затраты на дальнейшую эксплуатацию ограждающей конструкции [3]:

$$K_T = f \left\{ \frac{ПЗ_6}{ПЗ}, \frac{T_6}{T}, \frac{П}{П_6}, \frac{Э_6}{Э}, \frac{З_6}{З} \right\}; \quad (2)$$

где  $ПЗ$ ,  $ПЗ_6$  – прямые затраты на устройство дополнительной теплоизоляции по проектируемому и базовому варианту соответственно;

$T$ ,  $T_6$  – трудоемкость устройства дополнительной теплоизоляции по проектируемому и базовому варианту соответственно;

$П$ ,  $П_6$  – продолжительность устройства дополнительной теплоизоляции по проектируемому и базовому варианту соответственно;

$Э$ ,  $Э_6$  – эксплуатационные затраты по проектируемому и базовому варианту соответственно;

$З$ ,  $З_6$  – совокупные затраты по проектируемому и базовому варианту соответственно.

Технологичным будет тот вариант, у которого показатель технологичности будет более 1.

**Обсуждение результатов.** Разнообразие материалов и технологий выполнения, а также условий производства теплоизоляционных работ при устройстве ограждающих конструкций с повышенным термическим сопротивлением требует их полного учета для каждого конкретного объекта строительства или реконструкции. В процессе технико-экономического обоснования в производство принимается проект с минимальными трудовыми и материальными затратами, минимальными сроками выполнения работ вследствие принятия оптимальных конструктивных и организационно-технологических решений, учитывающих реальные условия производства работ и эксплуатации здания.

При оценке технологичности выявлено, что на конечный результат – совокупные затраты – также оказывают значительное влияние технологические схемы производства работ, параметры потока производства работ, в частности рациональное определение количества захваток и частных потоков для сокращения сроков производства работ.

**Выводы и перспективы дальнейшего развития.** Проведено исследование технологичности устройства ограждающих конструкций с повышенным термическим сопротивлением, в ходе которого выявлены закономерности влияния основных показателей технологичности на обобщающий показатель экономичности.

Для более полного изучения технологичности проектов термореновации следует провести исследование влияние количества конструктивных слоев ограждающих конструкций на показатели технологичности.

Для исследования зависимости показателей технологичности – трудоемкости, стоимости и продолжительности производства работ – от количества конструктивных слоев в ограждающей конструкции необходимо рассмотреть варианты конструктивных решений из нескольких слоев.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гусаков А.А. Системотехника строительства. – М.: Стройиздат, 1983. – 440 с.
2. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.
3. Монастырев П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2000. –

160 с.

4. Булгаков С.Н. Технологичность железобетонных конструкций и проектных решений. – М.: Стройиздат, 1983. – 303 с.
5. Завадскас Э.-К.К. Системотехническая оценка технологических решений строительного производства. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 256 с.

УДК 666.9 : 691.32

### ЭЛЕКТРОГЕТЕРОГЕННЫЙ МЕХАНИЗМ ТВЕРДЕНИЯ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КВАРЦЕВЫХ СУСПЕНЗИЙ

д.х.н., проф. Плугин А.Н. \*, м.н.с. Рапина Т.В. \*\*

\*Украинская государственная академия  
железнодорожного транспорта,

\*\*Харьковская национальная академия городского хозяйства

Механизм твердения и упрочнения материалов на основе высококонцентрированных кварцевых суспензий (ВКС) исследуется достаточно продолжительное время, однако до сих пор является недостаточно установленным.

Анализ литературных источников показал, что наиболее распространено мнение о том, что твердение керамических вяжущих, к которым относят и ВКС, основано на контактно-поликонденсационных явлениях [1-3], что носит в основном скорее описательный характер.

Целью нашей работы являлось выявление действительного механизма твердения высококонцентрированных кварцевых суспензий на основе данных экспериментальных исследований протекающих процессов.

По данным литературных источников [1-3], наиболее важными свойствами ВКС, обуславливающими их пригодность для эффективного использования в других строительных материалах, являются: плотность, вязкость, удельная поверхность, содержание химически связанной воды и концентрация наночастиц. Все они подвержены влиянию различных производственных факторов, из которых наибольшее влияние оказывают водотвердое отношение, количество добавки и продолжительность измельчения. С учетом этого, выполнены экспериментальные исследования влияния указанных факторов на свойства ВКС.

Для получения значимых зависимостей указанных свойств ВКС от производственных факторов последние изменяли в следующих пределах: 0,22 ÷ 0,28 – для В/Т; 0,2 ÷ 0,6 (%) – для количества добавки; 110 ÷ 160 (мин) – для продолжительности измельчения.

В качестве добавки применялось жидкое стекло. Частицы структурных элементов жидкого стекла обладают абсолютным и равновесным (в составе ВКС) электроповерхностными потенциалами  $\psi^0$  и  $\psi^p$ .

Определенные по методике [4], они составили: для частиц геля кремнекислоты  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  –  $\psi^p = -0,89\text{В}$ , а для кристаллических частиц силиката

натрия  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  –  $\psi^p = +0,12\text{В}$ .

Существование противоположно заряженных структурных элементов в добавке к ВКС позволяет предположить, что механизм твердения данного вида вяжущего заключается в возникновении электрогетерогенных контактов (ЭГК) между ними (рис. 1) и электрогетерогенной коагуляции суспензии с обеспечением ее прочности [4].

Кроме того, химический анализ песка Безлюдовского карьера, использованного для приготовления ВКС, свидетельствует о содержании небольших количеств извести  $\text{CaO}$  – 0,58 %. При сильно щелочной среде жидкого стекла образуются гидроксиды  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в виде кристаллических частиц со средним размером около 300 нм и положительными электроповерхностными потенциалами, равными:  $\psi^0 = +1,24\text{В}$ ,  $\psi^p = +0,53\text{В}$ .

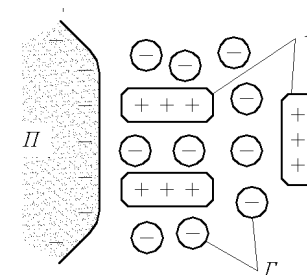
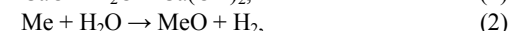
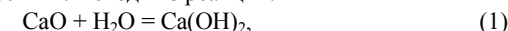


Рис. 1. Схема электрогетерогенных контактов между структурными элементами в ВКС. П, К, Г – частица измельченного песка, кристаллогидратные и гелевые частицы, соответственно

Кроме того, в составе ВКС могут присутствовать дисперсные частицы коллоидного железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , образующиеся в результате намола в количестве порядка 1 – 1,5 % [5]. Основываясь на представлениях электрохимии [6], можно предположить, что возникновение этого намола с образованием гидроксида железа обусловлено не только механическим износом мелющих шаров, но и электрохимической коррозией металлов, усиливающейся в сочетании с механическими нагрузками, особенно динамическими.

При этом коллоидные частицы железа (КЧЖ) обладают отрицательными электроповерхностными потенциалами и, следовательно, также могут принимать участие в образовании электрогетерогенных контактов.

Об образовании  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и коллоидного железа свидетельствует обнаруженная в образцах химически связанная вода в количестве до 0,47 % при измельчении в течение 160 мин. Исходя из реакций:



отношение  $\text{H}_2\text{O}$  к  $\text{CaO}$  составляет – 0,32 ( $18 / (40 + 16) = 0,32$ ), а  $\text{H}_2\text{O}$  к  $\text{Fe}$  так же – 0,32 ( $18 / 32 = 0,32$ ). Следовательно, количество химически связанной воды при количестве  $\text{CaO} = 0,58\%$  и намола до 1 % составит:

$$0,58 \cdot 0,32 + 1 \cdot 0,32 = 0,5 (\%), \quad (3)$$