

УДК 69.003.12

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПРИ УТЕПЛЕНИИ ФАСАДОВ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ**

Бабий И.Н., к.т.н., доцент,
Каминская-Пинаева А.И., магистр,
Мамалыга Е.О., магистрант,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
igor_babiy76@mail.ru

Кучеренко Л.В., к.т.н., доцент,
Винницкий национальный технический университет
lilya-krivenko@yandex.ru

Аннотация. В результате исследований установлено, что в строительной отрасли для утепления внешних ограждающих конструкций используются системы скреплённой теплоизоляции и навесные вентилируемые фасады. Исследованы зависимости изменения стоимости проекта при использовании различных технологических методов и вариантов организационных решений по утеплению внешних ограждающих конструкций зданий. На основании ЭС-моделирования установлена стоимость производства работ по утеплению фасадов наружной теплоизоляцией с отделкой штукатурками, а также облицовкой индустриальными элементами с вентилируемым воздушным слоем. Проведён сравнительный анализ стоимости устройства исследуемых технологий утепления.

Ключевые слова: утепление, моделирование, экономические показатели проекта, средства подмащивания.

**МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ
УТЕПЛЕННІ ФАСАДІВ БАГАТОПОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ**

Бабій І.М., к.т.н., доцент,
Камінська-Пінаєва А.І., магістр,
Мамаліга К.О., магістрант,
Одеська державна академія будівництва та архітектури
igor_babiy76@mail.ru

Кучеренко Л.В., к.т.н., доцент,
Вінницький національний технічний університет
lilya-krivenko@yandex.ru

Анотація. У результаті досліджень встановлено, що в будівельній галузі для утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій використовуються системи скріпленої теплоізоляції та навісні вентильовані фасади. Досліджено залежності зміни вартості проекту при використанні різних технологічних методів і варіантів організаційних рішень по утепленню зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель. На підставі ЕС-моделювання встановлено вартість виконання робіт з утеплення фасадів зовнішньою теплоізоляцією з оздобленням штукатурками, а також облицюванням індустріальними елементами з вентильованим повітряним шаром. Проведено порівняльний аналіз вартості влаштування досліджуваних технологій утеплення.

Ключові слова: утеплення, моделювання, економічні показники проекту, засоби підмошування.

MODELLING ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF FACADES HEAT INSULATION ON RESIDENTIAL HIGH-RISE BUILDING

Babiy I., Ph.D., Assistant Professor,
Kaminskaya-Pinaeva A., master,
Mamalyha K., undergraduate,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
igor_babiy76@mail.ru

Kucherenko L., Ph.D., Assistant Professor,
Vinnitsia National Technical University
lilya-krivenko@yandex.ru

Abstract. An urgent necessity in mass heat insulation of buildings facades create a separate direction in our country's construction industry. This article presents research of project cost changes by using different technological methods and organizational solutions options for heat insulation of buildings external enclosing structures. As a result of investigations, we determined what systems of fastened facades and ventilated facades heat insulation of external enclosing structures are used in the heat insulation process. Cost works on warming facades external heat insulation by using plaster finish and facing industrial elements with ventilated air layer based on ES-modeling was established. The most significant factors and levels of varying were determined at investigating of technical and economic parameters of heat insulation systems mounting with the mineral wool use. The comparative analysis of the device cost in investigated heat insulation technologies was carried out.

Keywords: insulation, modeling, economic parameters of the project, scaffolding.

Актуальность и постановка проблемы. Острая необходимость в массовом утеплении фасадов зданий способствует созданию отдельного направления в строительной отрасли нашей страны [1]. Это обусловлено полным несоответствием нормативным требованиям и мировым стандартам по сопротивлению теплопередаче внешних ограждающих конструкций большинства как общественных, так и жилых зданий, построенные, начиная с середины прошлого столетия и в начале нынешнего [2]. Поэтому все большее внимание необходимо уделять проблемам теплоизоляции современных зданий. Поскольку в условиях нестабильной экономической ситуации существует острая необходимость в оперативной корректировке стоимости как самих работ по утеплению, так и всего проекта в целом.

Анализ последних исследований и публикаций. В последнее время представляется интересным и необходимым предпроектное моделирование организационных и технологических решений, с целью уменьшения стоимости производства строительно-монтажных работ [3]. Это относится, в силу актуальности, и к процессу утепления зданий. Этим и другим проблемам при утеплении зданий посвящены работы отечественных ученых Фаренюка Г.Г., Меньлюка А.И., Сохи В.Г., Савицкого Н.В., Шаленного В.Т., Бабия И.Н., Борисова А.А. и др. Проводятся исследования зависимости технико-экономических показателей проектов по утеплению фасадов зданий [4]. Создаются и финансируются государственными программами в рамках поддержания достаточного уровня энергоэффективности различные проекты, направленные на термомодернизацию существующей застройки. В нашей стране утепление фасадов зданий осуществляется, преимущественно, наружными теплоизоляционными системами с отделкой штукатурками, к которым чаще всего используется название системы скреплённой теплоизоляции (ССТИ). В меньшей мере утепление фасадов, в силу большей стоимости, осуществляется облицовкой индустриальными элементами с вентилируемым воздушным слоем, также называемыми навесными вентилируемыми фасадами (НВФ) [5-8]. Однако, далеко не всегда эти проекты эффективны, потому что не до конца исследованы все возможности по оптимизации, как в организации проектов, так и при выборе технологических решений. Это порождает научный

интерес исследований этих систем и их сравнительный анализ общей стоимости при утеплении фасадов, а также их организационно-технологические решения.

Цели и задачи. Основной целью работы является исследование стоимости проекта для проведения сравнительного анализа изменения экономических показателей при выборе технологии утепления внешних ограждающих конструкций. Определены главные задачи – оценить влияние организационно-технологических факторов на экономические показатели проекта утепления внешних ограждающих конструкций различными технологиями.

Объекты и методы исследования. Объект исследований – технология и организация строительно-монтажных работ при утеплении фасадов. Предмет исследования – экономические показатели организационно-технологических решений утепления внешних ограждающих конструкций системой скреплённой теплоизоляции и навесными вентилируемыми фасадами. Задача определения зависимостей исследуемых показателей от варьируемых факторов решалась с использованием методов математического анализа. Построение календарных графиков производства работ по утеплению производилось в программе MS Project. При выполнении численного эксперимента использовались методы теории сокращённого планирования и оптимизации результатов. Обработка и анализ результатов, а также выбор эффективных моделей организационно-технологических решений по утеплению фасадов, выполнялись с использованием методов экспериментально-статистического моделирования (ЭС-моделирования) в программе COMPEX, теории математической статистики, а также качественного, количественного и сравнительного анализа [9].

Результаты исследований. При интерпретации результатов моделирования исходили из постулатов экономической эффективности проекта утепления. Критерием, по которому предложены и интерпретированы результаты, является минимизация стоимости проведения строительно-монтажных работ (СМР). Планирование и реализация эксперимента осуществлялась с привязкой к объекту исследований, а именно к элитному многоэтажному разноуровневому жилому комплексу «GreenWood», который построен в г. Одессе. Площадь утепления фасадов составляет 8558 м².

При исследовании технико-экономических показателей [4] устройства ССТИ с использованием минераловатного утеплителя были определены наиболее значимые факторы и уровни их варьирования:

- v_1 – производство работ методом промышленного альпинизма (0...100)%;
- v_2 – производство работ с люлек (0...100)%;
- v_3 – производство работ со строительных инвентарных лесов (0...100)%;
- x_4 – количество рабочих дней в неделю (5 ± 1 дней);
- x_5 – количество рабочих бригад (2 ± 1 бригад).

Рассмотрим результаты ЭС-моделирования зависимости показателя «общая стоимость» ($Y_{\text{ст}\{\text{ССТИ}\}}$) от факторов v_1, v_2, v_3 для семнадцати различных организационных схем утепления фасадов системами скреплённой теплоизоляции.

В результате выполнения экспериментально-статистического моделирования в области факторного пространства Ω_x была получена модель (1) ($s_9 = 2.918$), описывающая влияние организационных факторов x_4 и x_5 , а также степень совмещения средств подмащивания v_1, v_2, v_3 на стоимость выполнения строительно-монтажных работ при утеплении жилого здания. Фрагмент графического отображения модели показан на рисунке 1. При этом влияние процентного соотношения использования средств подмащивания показано при количестве бригад рабочих – 2 шт. и количестве рабочих дней в неделю – 5 дней.

$$Y_{\text{ст}\{\text{ССТИ}\}} = 1,303v_1 + 0,004v_1v_2 \pm 0v_1x_4 - 0,002v_1x_5 \pm 0x_4^2 \pm 0x_4x_5 \quad (1) \\ + 1,302v_2 + 0,006v_1v_3 \pm 0v_2x_4 \pm 0v_2x_5 \pm 0x_5^2 \\ + 1,425v_3 \pm 0v_2v_3 \pm 0v_3x_4 + 0,001v_3x_5$$

Как показали результаты исследования, при определении влияния исследуемых факторов на общую стоимость выполнения работ по утеплению было установлено следующее. Общая стоимость выполнения работ не зависит от количества бригад и количества рабочих дней в неделю, в случае если определена общая сметная стоимость строительства, и при этом не предусмотрено никакого изменения расходов на удорожание материалов и т.п. при

изменяющейся финансовой ситуации.

В тоже время необходимо отметить, что в данном случае основное влияние на общую стоимость оказывает выбор средств подмащивания, что отчётливо видно на рис. 1. Так минимальной стоимостью выполнения работ будут характеризоваться технологические операции по утеплению в случае использования для данного конкретного объекта промышленного альпинизма и работ с люлек в соотношении $v_1 : v_2 = 50:50$.

При этом стоимость утепления составит на заданный объем 1,3 млн. грн. В случае полной замены использования люлек на инвентарные леса произойдёт увеличение стоимости на 9,8%, что составляет 100 тыс. грн. Интересно отметить, что при утеплении фасада здания возможно использовать промышленный альпинизм взамен люлек, практически, без удорожания общей стоимости.

В дальнейшем были исследованы технико-экономические показатели при устройстве утепления фасадов зданий системой НВФ [10]. Были определены наиболее значимые факторы и уровни их варьирования:

- x_1 – количество бригад рабочих (2 ± 1 бригады);
- x_2 – количество рабочих дней в неделю (5 ± 1 дней);
- x_3 – количество технологических слоёв утеплителя (2 ± 1 слоя).

Закономерность изменения стоимости монтажных работ по устройству навесного вентилируемого фасада в зависимости от количества бригад рабочих, рабочих дней в неделю и конструктивных особенностей теплоизоляционного слоя описывается математической моделью (2):

$$Y_{\text{ст}\{\text{НВФ}\}} = 11,28 - 3,78 x_1 - 0,29 x_2 + 0,51 x_3 + 0,29 x_1^2 - 0,16 x_1 x_2 \quad (2)$$

На рисунке 2 представлены изоповерхности значений показателя стоимости выполнения монтажных работ (8, 9.5, 11, 12.5, 14 млн. грн.) при различных сочетаниях варьируемых факторов x_1 , x_2 , x_3 (количество бригад рабочих, количество рабочих дней в неделю, количество технологических слоёв для устройства теплоизоляции).

Минимальное значение стоимости выполнения монтажных работ ($Y_{\text{ст}\{\text{НВФ}\}} = 6,82$ млн. грн.) возможно при таком сочетании факторов (рис. 2): $x_1 = 1$ (3 бригады рабочих), $x_2 = 1$ (6 рабочих дней в неделю), $x_3 = 1$ (1 технологический слой для устройства теплоизоляции). Своего максимального значения (15,98 млн. грн.) исследуемый показатель достигает при $x_1 = 1$ (1 бригада рабочих), $x_2 = 1$ (4 рабочих дня в неделю) и $x_3 = 1$ (3 технологических слоя для устройства теплоизоляции).

В результате сравнительного анализа стоимости проектов утепления фасадов элитного жилого комплекса «GreenWood» при использовании разных технологий наружной теплоизоляции было установлено следующее. Монтаж системы навесного вентилируемого фасада превышает стоимость монтажа системы скрепленной теплоизоляции в области минимальных значений в 5 раз. Установлено, что варьируя организационно-технологическими факторами можно регулировать стоимость проекта утепления в широких пределах (в 2,3...2,5

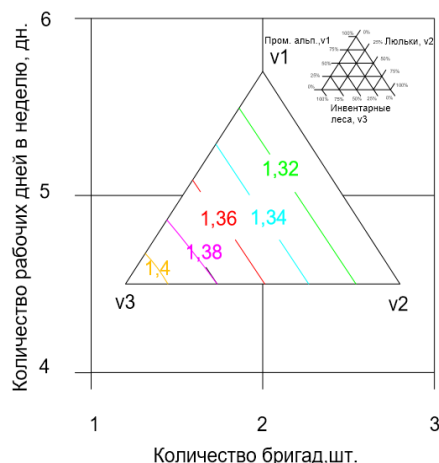


Рис. 1. Влияние организационно-технологических факторов на стоимость (млн. грн.) утепления фасадов здания системами скрепленной теплоизоляции

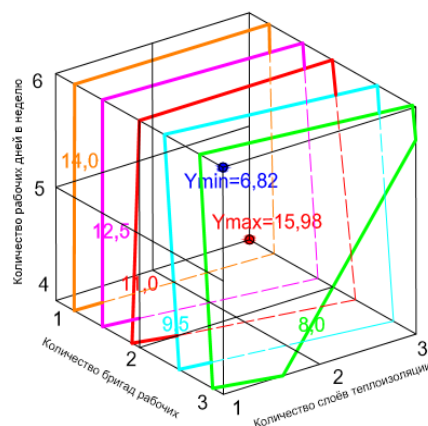


Рис. 2. Влияние организационно-технологических факторов на стоимость (млн. грн.) утепления здания навесными вентилируемыми фасадами

раза), что особенно актуально в условиях нестабильной, часто изменяющейся финансовой ситуации.

Выводы:

1. В условиях роста цен на энергоресурсы и не стабильной финансовой ситуации возникает необходимость корректировки стоимости проекта утепления или выбора другого технологического решения.

2. Минимальная стоимость проекта может быть получена при утеплении фасадов ССТИ, с учётом проведения работ методом промышленного альпинизма и с люлек, в процентном соотношении 50:50 (стоимость проекта при этом составила 1,3 млн. грн.).

3. Минимальная стоимость проекта утепления фасадов системой НВФ достигается при проведении работ с люлек и одной бригадой, при 4-х дневной рабочей неделе и с учётом устройства теплоизоляции в один технологический слой (стоимость проекта при этом составила 6,82 млн. грн.).

Перспективы дальнейших исследований. Планируется в перспективе исследовать возможность оптимизации организации и технологии устройства теплоизоляции зданий, с учётом их геометрических параметров и этажности, с целью уменьшения стоимости проектов утепления. Также представляется интересным изучение изменения стоимости проекта при увеличении трудоёмкости производства работ по высоте здания.

Литература

1. Фаренюк Г.Г. Особенности оценивания энергоэффективности проектов жилых домов / Г.Г. Фаренюк, Г.М. Агеева // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2010. – №5 (75). – С.13-17.

2. Кривенко П.В. Состояние и перспективы использования внешних теплоизоляционно-отделочных систем жилых зданий в Украине с взглядом на Европейские нормы / П.В. Кривенко, В.П. Ильин, Г.С. Ростовская // Сборник научных работ. – Винница. 2006. – С. 25

3. Менейлюк О. І. Вибір ефективних моделей реалізації проектів в умовах мінливої фінансової ситуації / О.І. Менейлюк, І.С. Чернов, Л.В. Лобакова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Харків, 2014 р.– С. 71-75.

4. Бабий И.Н. Влияние различных организационно-технологических схем проекта утепления фасадов на его технико-экономические показатели / И.Н. Бабий, А.И. Каминская-Пинаева // Вісник ОДАБА, Одеса: Атлант, 2016. – Вип. 64. – С. 234-239.

5. Гусев Б.В. Потеря массы минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий / Б.В. Гусев, В.А. Езерский, П.В. Монастырев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. – № 6. – С. 51.

6. Гагарин. В.Г. Быть или не быть в конструкциях навесных фасадов ветрозащитным плёнкам? – Интервью с заведующим лабораторией НИИСФ, д.т.н., профессором Гагариным В.Г. [Электронный ресурс] / Гагарин В.Г. // <http://www.makonstroy.ru/vetroz/>

7. Пискун А.Е. Рациональные технологические параметры устройства навесных вентилируемых фасадов / А.Е. Пискун, Ю.Н. Казаков // Вестник гражданских инженеров. – СПб.: СПбГАСУ, 2008. – № 4. – С. 25-29.

8. Чернявський В.В. Теплоізоляційно-опоряджувальні фасадні системи як засіб термомодернізації житлового фонду України / В.В. Чернявський, О.І. Юрін, Г.Г. Фаренюк // Ресурсно-економічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2008. – Вип. 17. – С. 365 – 372.

9. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ/ В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.:Вища школа, 1989.–328 с.

10. Бабій І.М. Оптимізація проекту утеплення будинку системою вентильованих фасад на основі експериментально-статистичного моделювання / І.М. Бабій, А.І. Камінська-Пінаєва // Науково-технічний збірник “Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві”, Вінниця, ВНТУ, 2016. – №. 2(21). – С. 25-31.

Стаття надійшла 6.12.2016