

**Н. Жаңабай<sup>1,\*</sup>, С. Буганова<sup>2</sup>, И. Байділлә<sup>1</sup>, А. Тағыбаев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

<sup>2</sup>Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

**Информация об авторах:**

Жаңабай Нұрлан – руководитель докторантов, кандидат технических наук, профессор кафедры «Строительство и строительные материалы», Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-8153-1449>, email: Nurlan.zhanabay777@mail.ru

Буганова Светлана – кандидат технических наук, доцент факультет «Строительных технологий, инфраструктуры и менеджмента» Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-2005-3305>, email: Svetlanabuganova7@gmail.com

Байділлә Исламбек – докторант кафедры «Строительство и строительные материалы», Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-9690-7218>, email: V.Islam2022@rambler.ru

Тағыбаев Асхат – докторант кафедры «Строительство и строительные материалы», Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-5980-7349>, email: t.ashan2021@rambler.ru

\*Автор корреспондент: Nurlan.zhanabay777@mail.ru

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ**

**Аннотация.** В работе исследовались температурные поля в ограждении при различных граничных условиях, которые были рассчитаны в программном комплексе ANSYS, где для определения теплового сопротивления прослойки или канала использована итерационная вычислительная схема. Получено, что из всех разработанных конструкций наиболее эффективнее является конструкция с воздушными прослойками с теплоотражающим экраном во внешней поверхности, которая превышает по показателю теплового сопротивления другие конструкции: при минимальной наружной температуре на 14,5%, при максимальной температуре – на 14,2%, при средней температуры наиболее холодной пятидневки – на 16,7%, а при средней температуры первого месяца после окончания отопительного периода – 16%, а показатели теплового сопротивления горизонтальных или вертикальных каналов имеют почти одинаковые значения.

**Ключевые слова:** отражающий экран, воздушная прослойка, теплоизоляционный материал, наружное ограждение, тепловое сопротивление, температурное поле.

### **Введение**

Экономическое развитие и улучшение уровня жизни во многих развитых и развивающихся странах мира привело к увеличению потребления энергии, что способствовало загрязнению окружающей среды и интенсивному изменению климата во всем мире. Кроме того, высокое потребление ископаемых энергоресурсов может привести к быстрому истощению источников в ближайшем будущем. Данная проблема касается и строительной отрасли, в которой энергосбережение и создание энергоэффективных зданий являются актуальными и приори-

тетными направлениями во многих странах, в том числе и в Казахстане. Известно, что для обслуживания здания потребляется около 30% от всей конечной энергии в мире [1]. Для Европейского союза это значение составляет около 40% [2], где приблизительно 80% всей энергии используется для отопления помещений, вентиляции и кондиционирования воздуха в здании [3]. Поэтому в последнее время главной проблемой становится эффективность использования энергии при строительстве и обслуживании зданий.

В научно-технических источниках имеются множество исследований теплотехнических свойств ограждающих конструкций, где в последнее время уделяется особое место наружным ограждающим конструкция с воздушной прослойкой [4,5]. Отметим исследования, в которых используются натурные эксперименты [6], а также методы классического математического моделирования и расчета [7, 8]. На потерю тепла через ограждающую конструкцию здания влияют их геометрия и ориентация, свойства материалов слоев, тип конструкции и его взаимодействие с внешней средой. Таким образом, проектирование ограждающих конструкций определяют своей целью – увеличить или ограничить прирост или потерю тепла, с учетом климатических особенностей района строительства. Оптимальным решением для условий жаркого климата является использование в ограждениях неветилируемых фасадов [9]. Однако в научной литературе очень мало данных о работе данных конструкций в различных экстремальных условиях климата.

В исследованиях [10] обобщена информация по работе и выданы рекомендации по улучшению теплового режима каменных стен и снижения энергопотребления зданий. Также представлен обширный обзор литературы по ключевым факторам, влияющим на общие тепловые характеристики каменных стен, методам эффективной оценки и измерения значений сопротивления теплопередаче, а также оптимальному проектированию теплоэффективных ограждений. Однако в данном исследовании не рассмотрены вопросы энергосбережения с применением воздушной прослойки в наружных ограждениях.

В исследовании [11] обобщена информация и рекомендация, которая поможет улучшить тепловой режим каменных стен, тем самым снижая энергопотребление зданий. Также представлен всеобъемлющий обзор литературы по ключевым факторам, влияющим на общие тепловые характеристики каменных стен, методам эффективной оценки и измерения значение сопротивления, а также улучшениям в тепловом проектировании. Тем не менее, хочется отметить, что в данном исследовании не приведены вопросы энергосбережения с применением воздушной прослойки в наружных ограждениях. Имеются работы, в которых описывается применение материалов зависящих от количества атомов углерода, то эти материалы имеют широкий спектр применения для аккумулялирования различной тепловой энергии, включая и солнечную [12].

В исследованиях [13,14,15] рассчитываются оптимальные значения толщины утеплителя, энергосбережение и период окупаемости для утепления внешних стен строений в разных регионах Турции. В работах [16,17] исследовался вопрос оптимальной толщины теплоизолирующего слоя для холодильных установок с учетом экологичности. В исследованиях [18,19] содержат исследования

влияния теплоизоляции наружных стен строений на окружающую среду. Работы [20,21] рассматривает энергосберегающие строения с различными видами теплоизоляции: пенопластом, минеральной ватой и с помощью воздушных зазоров. [22] содержит сравнение двух материалов для теплоизоляции крыши – пенопласта и стекловаты – в жарком и холодном климатах.

Несмотря на то, что существуют множество исследований по разработке энергосберегающей конструкции наружного ограждения, вопрос по изучению влияния воздушной прослойки на энергоэффективность ограждения пока еще остается открытым и требует дополнительной разработки новых энергоэффективных ограждающих конструкций. В связи с чем целью данного исследования является разработка новых энергосберегающих конструкций с воздушной прослойкой и анализ температурных полей.

### Материалы и методы

Расчёта температурных полей в ограждающих конструкциях используется метод конечно-элементного моделирования в среде ANSYS. Строится конечно-элементная модель участка ограждения размером  $1 \times 1$  м, в которой рассчитывается температурное поле при заданных внешних условиях. При этом конечно-элементное моделирование вентилируемого фасада не производится, а влияние вентилируемой воздушной прослойки заменяется граничными условиями на внешней стороне ограждения без учёта вентилируемого фасада. Задача разбивается на четыре этапа, которые выполняются итерационно [23]: 1. Расчёт свойств ограждения без учёта вентилируемого фасада и со свойствами замкнутых прослоек и каналов по [24]; 2. Расчёт параметров воздуха в вентилируемом фасаде; 3. Анализ температурного поля в ограждении, заменяя вентилируемый фасад граничными условиями; 4. Расчёт свойств замкнутой прослойки или каналов.

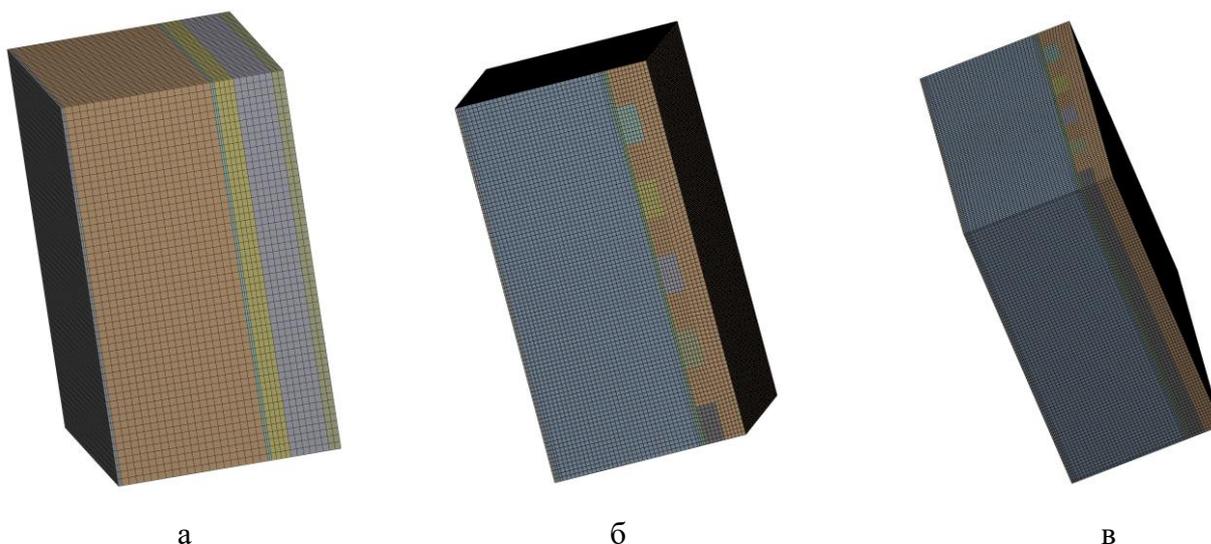


Рисунок 1 – Участок ограждения: а – конечно-элементная модель Схемы-1, содержащая 104976 20-узловых гексагональных конечных элементов с 440605 узлами; б – конечно-элементная модель Схемы-2, содержащая 445740 20-узловых гексагональных конечных элементов с 1838268 узлами; в - конечно-элементная модель Схемы-3, содержащая 432768 20-узловых гексагональных конечных элементов с 1785679 узлами [материал авторов]

Характеристика материалов ограждающих конструкций приняты согласно [25] и представлены по Схеме -1 в таблице 1, а по схемам 2,3 в таблице 2.

Таблица 1 – Характеристики слоев ограждающей конструкции по схеме 1

Порядковый номер слоя	Описание	Толщина, мм	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Теплоусвоения (при периоде 24ч), S.Вт/(м·С)	Паропроницаемость, $\mu$ , мг/(м·ч·Па)	Степень черноты	
						без теплоотражающего покрытия	с теплоотражающим покрытием*
1	Цементно-песчаная штукатурка с плотностью 1800 кг/м <sup>3</sup>	10	0,76	9,6	0,09		
2	Кладка из керамического кирпича с плотностью 1800 кг/м <sup>3</sup>	380	0,58	7,91	0,14		
3	Цементно-песчаная штукатурка с плотностью 1800 кг/м <sup>3</sup>	10	0,76	9,6	0,09		
4	Утеплитель - экструдированный пенополистирол плотностью 25 кг/м <sup>3</sup>	50	0,03	0,3	0,005		
5	Теплоотражающий экран	-	-	-	-	0,9	0,03
6	Воздушная прослойка	100	-	-	-		
7	Теплоотражающий экран	-	-	-	-	0,9	0,03
8	Утеплитель - экструдированный пенополистирол плотностью 25 кг/м <sup>3</sup>	30	0,03	0,3	0,005		
9	Воздушная прослойка	100	-	-	-		
10	Облицовочный слой из керамогранита с плотностью 2800 кг/м <sup>3</sup>	10	3,49	25,04	0,008		

Таблица 2 – Характеристики слоев ограждающей конструкции по схемам 2,3

Порядковый номер слоя	Описание	Толщина, мм	Ширина, см	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Теплоусвоения (при периоде 24ч), S.Вт/(м·С)	Паропроницаемость, $\mu$ , мг/(м·ч·Па)	Степень черноты		
							без теплоотражающего покрытия	с теплоотражающим покрытием*	
1	Цементно-песчаная штукатурка	10	-	0,76	9,6	0,09	-	-	
2	Кладка из керамического кирпича	380	-	0,58	7,91	0,14	-	-	
3	Цементно-песчаная штукатурка	10	-	0,76	9,6	0,09			
4	Утеплитель	Сплошной ЭПС	105	-	0,03	0,3	0,005	0,9	0,03
5		Чередующиеся горизонтальные и вертикальные полосы ЭПС/воздух	50	10	-	-		-	-
6	Воздушная прослойка	175	-	0,03			-	-	
7	Облицовочный слой из керамогранита	10	-	3,49	25,04	0,008	-	-	

Климатические и внутренние граничные условия района (г. Шымкент, Республика Казахстан) были приняты согласно [25]. Для всех схем ограждения были проведены расчёты стационарного температурного поля в среде ANSYS при следующих условиях.

– температура внешней среды – абсолютная минимальная ( $-30,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), средняя внутренняя температура  $20^{\circ}\text{C}$ ;

– температура внешней среды – абсолютная максимальная ( $44,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), средняя внутренняя температура  $28^{\circ}\text{C}$ ;

– температура внешней среды – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 ( $-14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), средняя внутренняя температура  $20^{\circ}\text{C}$ ;

– температура внешней среды – средняя температура апреля ( $13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), средняя внутренняя температура  $20^{\circ}\text{C}$ .

### Результаты и обсуждение

На первом этапе были разработаны конструкции наружных ограждений с воздушными прослойками и каналами с учётом теплоотражающего экрана. В качестве объектов исследования использованы ограждения, изображённые на рисунках 2.

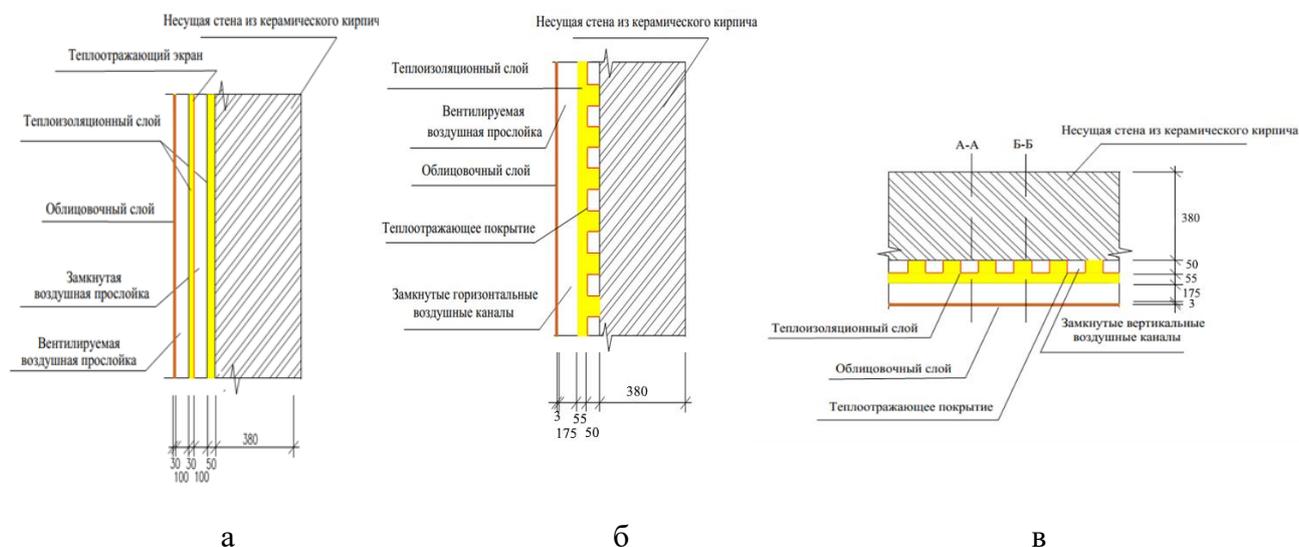


Рисунок 2 – Схемы 1-3: многослойная стеновая ограждающая конструкция с однородным несущим и теплоизоляционными слоями: а – воздушными прослойками с теплоотражающим экраном во внешней поверхности замкнутой воздушной прослойки; б – плитным теплоизоляционным слоем с горизонтальными воздушными каналами и теплоотражающим экраном; в – плитным теплоизоляционным слоем с вертикальными воздушными каналами и теплоотражающим экраном [материал авторов]

На втором этапе проведен расчет температурных полей разработанных конструкций наружных ограждений.

На рисунке 3 показан расчёт температурных полей ограждения по Схеме 1, который проводился на основе модели, изображённой на рисунке 1а. Расчёт температурного поля в ограждении заключается в учёте теплоотражающего

экрана на внешней стороне замкнутой воздушной прослойки при абсолютной максимальной температуре внешнего воздуха, остальные температурные условия приведены в таблице 3.

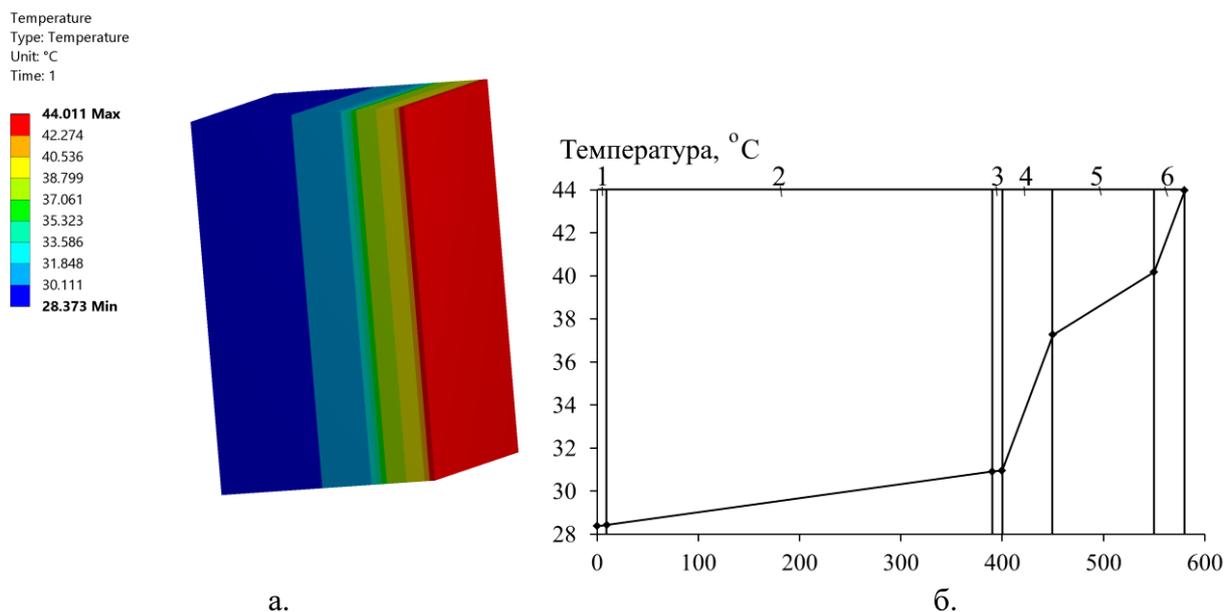
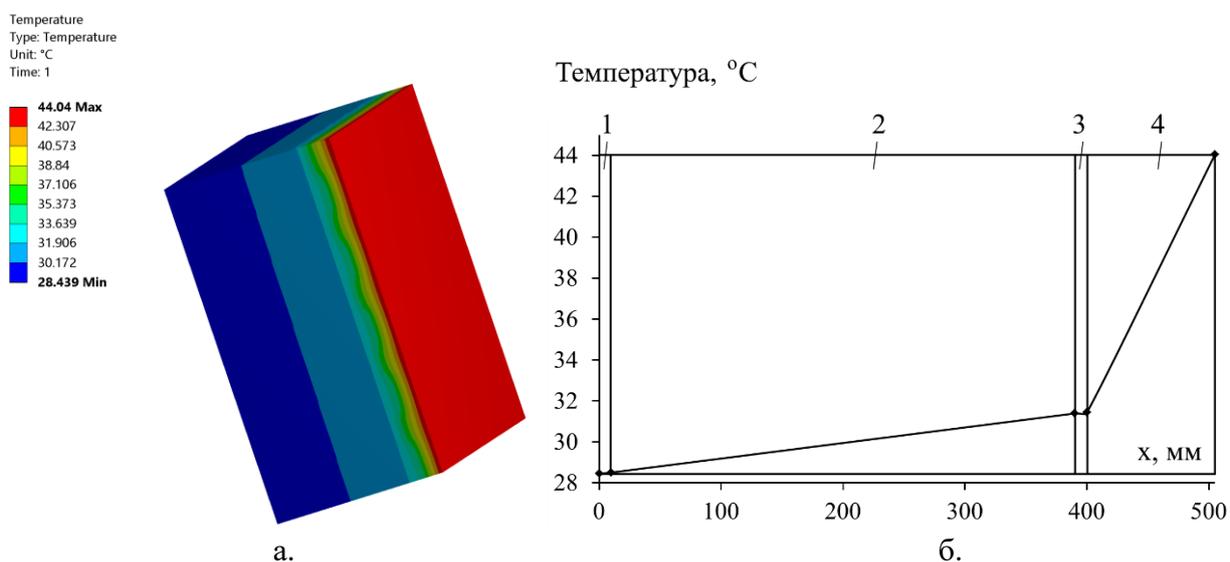
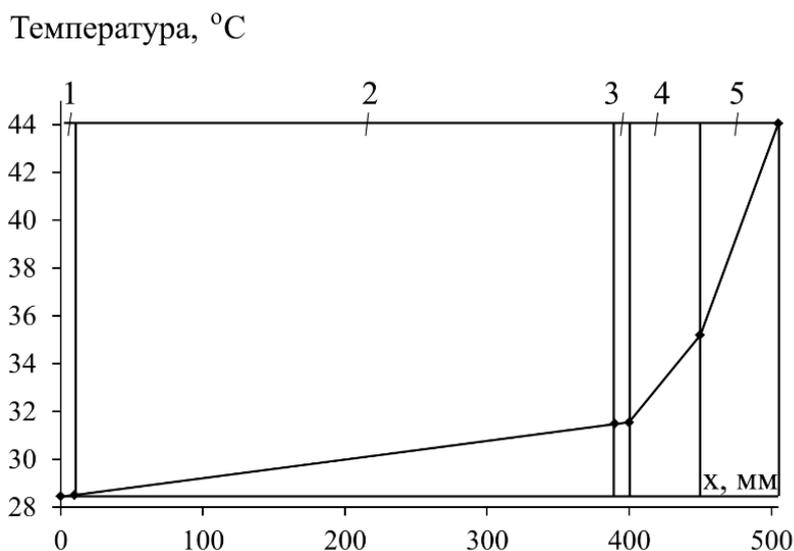


Рисунок 3 – Температурное поле в ограждении при абсолютной максимальной температуре внешнего воздуха: а – трёхмерная модель; б – график изменения температуры по толщине ограждения: 1, 3 – цементно-песчаная штукатурка; 2 – несущий слой из керамического кирпича; 4, 6 – утеплитель экструдированный пенополистирол; 5 – замкнутая воздушная прослойка [материал авторов]

На рисунке 4 показан расчёт температурных полей ограждения по Схеме 2, который проводился на основе модели, изображённой на рисунке 1б. с дополнительным теплоотражающим слоем на поверхности замкнутых горизонтальных каналов при абсолютной максимальной температуре внешнего воздуха, остальные температурные условия приведены в табл. 3.



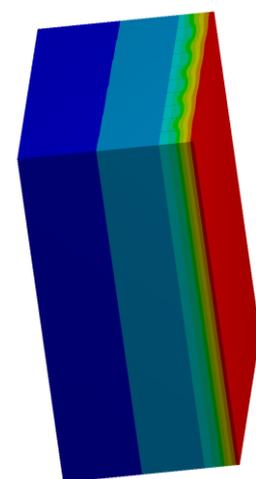
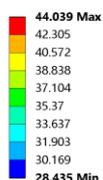


в.

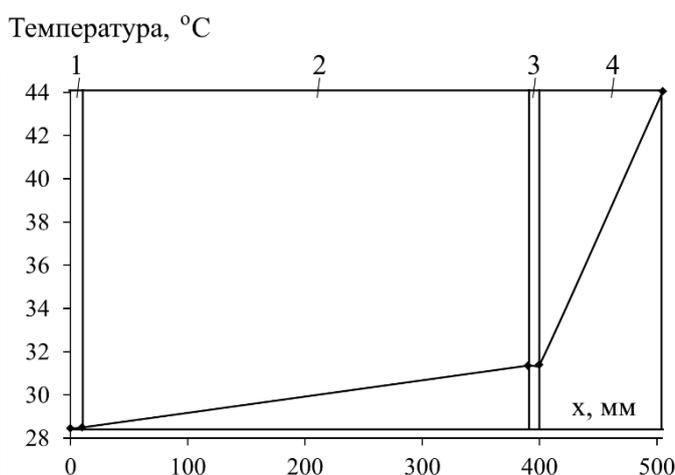
Рисунок 4 – Температурное поле в ограждении при абсолютной максимальной температуре внешнего воздуха: а – трёхмерная модель; б – график изменения температуры по толщине ограждения в сечении сплошного утеплителя: 1, 3 – цементно-песчаная штукатурка; 2 – несущий слой из керамического кирпича; 4 – утеплитель экструдированный пенополистирол; в – график изменения температуры по толщине ограждения в сечении воздушного канала: 1, 3 – цементно-песчаная штукатурка; 2 – несущий слой из керамического кирпича; 4 – замкнутый воздушный канал; 5 – утеплитель экструдированный пенополистирол [материал авторов]

На рисунке 5 показан расчёт температурных полей ограждения по Схеме 3, который проводился на основе модели, изображённой на рисунке 1в. с дополнительном теплоотражающем слоем на поверхности замкнутых вертикальных каналов при абсолютной максимальной температуре внешнего воздуха, остальные температурные условия приведены в таблице 3.

Temperature  
Type: Temperature  
Unit: °C  
Time: 1  
22.12.2022 22:53



а.



б.

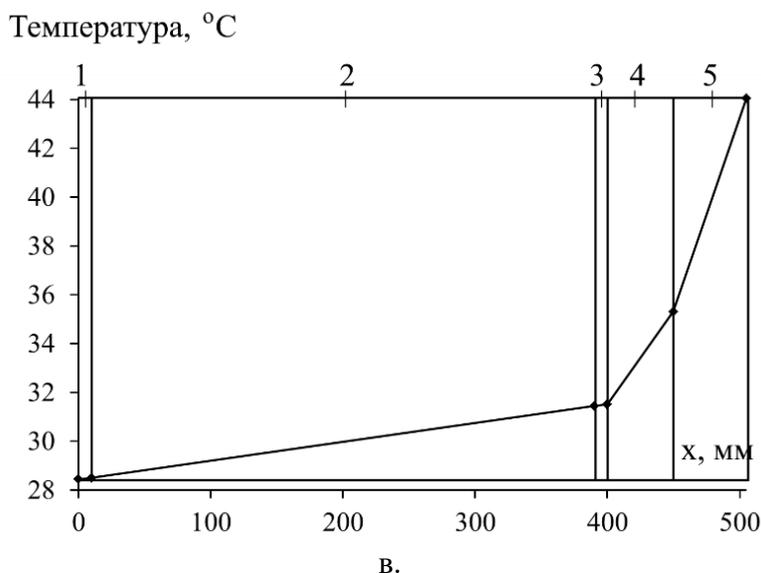


Рисунок 5 – Температурное поле в ограждении при абсолютной максимальной температуре внешнего воздуха: а – трёхмерная модель; б. – график изменения температуры по толщине ограждения в сечении сплошного утеплителя: 1, 3 – цементно-песчаная штукатурка; 2 – несущий слой из керамического кирпича; 4 – утеплитель экструдированный пенополистирол; в – график изменения температуры по толщине ограждения в сечении воздушного канала: 1, 3 – цементно-песчаная штукатурка; 2 – несущий слой из керамического кирпича; 4 – замкнутый воздушный канал; 5 – утеплитель экструдированный пенополистирол.

Таблица 3 – Тепловое сопротивление ограждений по схемам 1-3

Параметр	Значение по Схеме-1	Значение по Схеме-2	Значение по Схеме-3
Тепловое сопротивление внутренней стены, минимальная температура	4,011	3,375	3,349
Тепловое сопротивление внутренней стены, максимальная температура	4,119	3,496	3,529
Тепловое сопротивление внутренней стены, пятидневка	4,058	3,401	3,431
Тепловое сопротивление внутренней стены, апрель	4,313	3,663	3,655
Тепловое сопротивление ограждения, минимальная температура	4,164	3,530	3,504
Тепловое сопротивление ограждения, максимальная температура	4,233	3,610	3,643
Тепловое сопротивление ограждения, пятидневка	4,202	3,546	3,576
Тепловое сопротивление ограждения, апрель	4,442	3,793	3,785
Тепловое сопротивление прослойки, минимальная температура	0,668	0,475	0,495
Тепловое сопротивление прослойки, максимальная температура	0,770	0,616	0,654
Тепловое сопротивление прослойки, пятидневка	0,710	0,525	0,534
Тепловое сопротивление прослойки, апрель	0,964	0,769	0,784

В исследовании в конструктивных решениях применялись традиционные местные строительные материалы (таблицы 1, 2) согласно [24] и климатические условия района согласно [25].

Расчёт температурных полей в ограждающих конструкций проведен с использованием метода конечно-элементного моделирования и анализа в среде ANSYS. При этом конечно-элементное моделирование вентилируемого фасада не производится, а влияние вентилируемой воздушной прослойки заменяется граничными условиями на внешней стороне ограждения без учёта самого вентилируемого фасада. Вместе с тем задача определения теплового сопротивления невентилируемой прослойки выполнялась по методу итерации [23], результаты которых представлены в таблице 3 и на рисунках 3-5 для абсолютной максимальной температуре внешнего воздуха, а остальные показатели рассчитаны аналогичным образом и показаны также в таблице 3.

Анализ результатов расчета теплового сопротивления ограждающих конструкций согласно рисункам 3-5 показал, что из всех разработанных конструкций наиболее эффективнее является конструкция показанная на Схеме-1, которая превышает по показателю теплового сопротивления ограждения Схем 2-3: при минимальной наружной температуре на 14,5%, при максимальной температуре – на 14,2%, при средней температуры наиболее холодной пятидневки – на 16,7%, а при средней температуры первого месяца после окончания отопительного периода – 16%. Также в исследовании было установлено, показатели теплового сопротивления горизонтальных или вертикальных каналов имеют почти одинаковое значение, таблица 3.

Следует отметить, что полученные в исследовании значения по тепловому сопротивлению наружных ограждающих конструкций с воздушными каналами являются частью проводимых авторами комплексных исследований энергоэффективных ограждающих конструкций с регулируемыми и изменяющимися теплотехническими свойствами. Эти данные в совокупности будут пересматриваться с результатами исследования влажностного и воздушного режима наружных ограждений и свойств по воздухопроницанию ограждения. В результате комплексного анализа исследования будет выбрана наиболее эффективная ограждающая конструкция с воздушной прослойкой.

### **Заключение**

Построены конечно-элементные модели температурного поля в ограждении при различных граничных условиях. Для определения теплового сопротивления прослойки или канала использована итерационная вычислительная схема.

Анализ результатов расчета теплового сопротивления ограждающих конструкций согласно показал, что из всех разработанных конструкций наиболее эффективнее является конструкция показанная на Схеме-1, которая превышает по показателю теплового сопротивления ограждения Схем 2-3: при минимальной наружной температуре на 14,5%, при максимальной температуре – на 14,2%, при средней температуры наиболее холодной пятидневки – на 16,7%, а при средней температуры первого месяца после окончания отопительного периода – 16%.

Также в исследовании было установлено, показатели теплового сопротивления горизонтальных или вертикальных каналов имеют почти одинаковое значение.

#### Литература:

1. *Forskning och innovation [Электрон. ресурс] – 2022. – URL: <http://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/> (дата обращения: 16.12.2022)*
2. *Shandilya A., & Streicher W. Performance and Cost Analysis of Retrofit Strategies Applied to a Sample Single Family House Located in New Delhi India Assisted by TRNSYS Energy Simulation Tool-A Case Study. International Journal of Engineering and Technical Research. 2017, 6(11), 304-312. DOI: <https://doi.org/10.17577/IJERTV6IS110138>. (в международном журнале)*
3. *Shandilya A., Hauer M., & Streicher W. Optimization of Thermal Behavior and Energy Efficiency of a Residential House Using Energy Retrofitting in Different Climates. Civil Engineering and Architecture. 2020, 8(3), 335-349. DOI: <https://doi.org/10.13189/cea.2020.080318>. (в международном журнале)*
4. *Kudabayev R., Suleimenov U., Ristavletov R., Kasimov I., Kambarov M., Zhangabay N., Abshenov K. Modeling the Thermal Regime of a Room in a Building with a Thermal Energy Storage Envelope. Math. Model. Eng. Probl. 2022, 9, 351–358. DOI: <https://doi.org/10.18280/mmer.090208>. (в международном журнале)*
5. *Kudabayev R., Mizamov N., Zhangabay, N., Suleimenov, U., Kostikov A., Vorontsova A., Buganovs S., Umbitaliyev A., Kalshabekova E., Aldiyarov, Zh. Construction of a model for an enclosing structure with a heat-accumulating material with phase transition taking into account the process of solar energy accumulation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022, 6/8 (120), 26–37. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268618>. (в международном журнале)*
6. *Irshad K., Habib K., Saidur R., Kareem M. W., & Saha B. B. Study of thermoelectric and photovoltaic facade system for energy efficient building development: A review. Journal of Cleaner Production. 2019, 209, 1376-1395. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.245>. (в международном журнале)*
7. *Shen J., Zhang X., Yang T., Tang L., Shinohara H., Wu Y., Xu P. Experimental study of a compact unglazed solar thermal facade (STF) for energy-efficient buildings. Paper presented at the Energy Procedia. 2016, 104, 3-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.002>. (в международном журнале)*
8. *Zhu L., Yang Y., Chen S., & Sun Y. Numerical study on the thermal performance of lightweight temporary building integrated with phase change materials. Applied Thermal Engineering. 2018, 138, 35-47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.03.103>. (в международном журнале)*
9. *Alhefnawi M. A. M., Abdu-Allah Al-Qahtany, M. Thermal Insulation Efficiency of Unventilated Air-Gapped Facades in Hot Climate. Arabian Journal for Science and Engineering. 2016, 42(3), 1155–1160. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-016-2370-5>. (в международном журнале)*
10. *Maysoun Ismaiel, Yuxiang Chen, Carlos Cruz-Noguez, Mark Hagel Thermal resistance of masonry walls: a literature review on influence factors, evaluation, and improvement. Journal of Building Physics. 2021, 45-4, 528–567. DOI: <https://doi.org/10.1177/17442591211009549>. (в международном журнале)*
11. *Borodin K., Zhangabay N.Z. Mechanical characteristics, as well as physical-and-chemical properties of the slag-filled concretes, and investigation of the predictive power of the metaheuristic approach. Curved and Layered Structures. 2019, 6(1), 236–244. DOI: <https://doi.org/10.1515/cls-2019-0020>. (в международном журнале)*
12. *Utelbaeva A.B., Ermakhanov M.N., Zhanabai N.Z., Utelbaev B.T., MelDeshov A.A. Hydrogenation of benzene in the presence of ruthenium on a modified montmorillonite support. Russian Journal of Physical Chemistry A. 2013, 87(9), 1478–1481. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0036024413090276>. (в международном журнале)*

13. Dombaycı O.A. The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings. *Building and Environment*. 2007, 42, 3855–3859. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.054>. (в международном журнале)
14. Kaynaklı O. A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness. *Renewable Energy*. 2008, 33, 1164–1172. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.07.001>. (в международном журнале)
15. Ucar A., Balo F. Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey. *Applied Energy*. 2009, 86, 730–736. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.09.015>. (в международном журнале)
16. Soylemez, M.S., Unsal, M. Optimum insulation thickness for refrigeration applications. *Energy Conversion and Management*. 1999, 40, 13–21. [https://www.sci-hub.ru/10.1016/S0196-8904\(98\)00125-3](https://www.sci-hub.ru/10.1016/S0196-8904(98)00125-3). (в международном журнале)
17. Horn R., Burr M., Fröhlich D., Gschwander S., Held M., Lindner J. P., Schossig P. Life cycle assessment of innovative materials for thermal energy storage in buildings. *Procedia CIRP*. 2018, 69, 206–211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.095>. (в международном журнале)
18. Comaklı K., Yu ksel B. Environmental impact of thermal insulation thickness in building. *Applied Thermal Engineering*. 2004, 24, 933–940. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2003.10.020>. (в международном журнале)
19. Dombaycı O.A., Golcu M., Pancar Y. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. *Applied Energy*. 2006, 83, 921–928. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2005.10.006>. (в международном журнале)
20. Mohsen M.S., Akash B.A. Some prospect of energy savings in buildings. *Energy Conversion and Management*. 2001, 42, 1307–1315. <https://aurak.ac.ae/publications/Some-prospects-of-energy-savings-in-buildings.pdf>. (в международном журнале)
21. Zhangabay N., Abshenov K., Bakhbergen S., Zhakash A., Moldagaliyev A. Evaluating the Effectiveness of Energy-Saving Retrofit Strategies for Residential Buildings. *Int. Rev. Civ. Eng.* 2022, 13, 118–126. DOI: <https://doi.org/10.15866/irece.v13i2.20933>. (в международном журнале)
22. Al-Sallal, K.A. Comparison between polystyrene and fiberglass roof insulation in warm and cold climates. *Renewable Energy*. 2003, 28, 603–611. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(02\)00065-4](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(02)00065-4). (в международном журнале)
23. Умнякова Н.П. Теплозащита замкнутых воздушных прослоек с отражательной теплоизоляцией. *Жилищное строительство*. 2014, 1–2. 16–20 [Электрон. ресурс] – 2014. – URL: <http://surl.li/hsuze> (дата обращения: 18.12.2022).
24. СП РК 2.04-107-2013 Строительная техника. Астана, 2015.
25. СП РК 2.04-01-2017 Строительная климатология. Астана, 2017.

#### References:

1. Forskning och innovation [Elektron.resurs]. – 2022. – URL: <http://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/>.
2. Shandilya A., & Streicher W. Performance and Cost Analysis of Retrofit Strategies Applied to a Sample Single Family House Located in New Delhi India Assisted by TRNSYS Energy Simulation Tool-A Case Study. *International Journal of Engineering and Technical Research*. 2017, 6(11), 304–312. DOI: <https://doi.org/10.17577/IJERTV6IS110138>.
3. Shandilya A., Hauer M., & Streicher W. Optimization of Thermal Behavior and Energy Efficiency of a Residential House Using Energy Retrofitting in Different Climates. *Civil Engineering and Architecture*. 2020, 8(3), 335–349. DOI: <https://doi.org/10.13189/cea.2020.080318>.
4. Kudabayev R., Suleimenov U., Ristavletov R., Kasimov I., Kambarov M., Zhangabay N., Abshenov K. Modeling the Thermal Regime of a Room in a Building with a Thermal Energy Storage Envelope. *Math. Model. Eng. Probl.* 2022, 9, 351–358. DOI: <https://doi.org/10.18280/mmp.090208>.

5. Kudabayev R., Mizamov N., Zhangabay, N., Suleimenov, U., Kostikov A., Vorontsova A., Buganovs S., Umbitaliyev A., Kalshabekova E., Aldiyarov, Zh. Construction of a model for an enclosing structure with a heat-accumulating material with phase transition taking into account the process of solar energy accumulation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022, 6/8 (120), 26–37. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268618>.
6. Irshad K., Habib K., Saidur R., Kareem M. W., & Saha B. B. Study of thermoelectric and photovoltaic facade system for energy efficient building development: A review. *Journal of Cleaner Production*. 2019, 209, 1376-1395. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.245>.
7. Shen J., Zhang X., Yang T., Tang L., Shinohara H., Wu Y., Xu P. Experimental study of a compact unglazed solar thermal facade (STF) for energy-efficient buildings. Paper presented at the *Energy Procedia*. 2016, 104, 3-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.002>.
8. Zhu L., Yang Y., Chen S., & Sun Y. Numerical study on the thermal performance of lightweight temporary building integrated with phase change materials. *Applied Thermal Engineering*. 2018, 138, 35-47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.03.103>.
9. Alhefnawi M. A. M., Abdu-Allah Al-Qahtany, M. Thermal Insulation Efficiency of Unventilated Air-Gapped Facades in Hot Climate. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2016, 42(3), 1155–1160. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-016-2370-5>.
10. Maysoun Ismaiel, Yuxiang Chen, Carlos Cruz-Noguez, Mark Hagel Thermal resistance of masonry walls: a literature review on influence factors, evaluation, and improvement. *Journal of Building Physics*. 2021, 45-4, 528–567. DOI: <https://doi.org/10.1177/17442591211009549>.
11. Borodin K., Zhangabay N.Z. Mechanical characteristics, as well as physical-and-chemical properties of the slag-filled concretes, and investigation of the predictive power of the metaheuristic approach. *Curved and Layered Structures*. 2019, 6(1), 236–244. DOI: <https://doi.org/10.1515/cls-2019-0020>.
12. Utelbaeva A.B., Ermakhanov M.N., Zhanabai N.Z., Utelbaev B.T., MelDeshov A.A. Hydrogenation of benzene in the presence of ruthenium on a modified montmorillonite support. *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2013, 87(9), 1478–1481. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0036024413090276>.
13. Dombaycı O.A. The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings. *Building and Environment*. 2007, 42, 3855–3859. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.054>.
14. Kaynaklı O. A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness. *Renewable Energy*. 2008, 33, 1164–1172. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.07.001>.
15. Ucar A., Balo F. Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey. *Applied Energy*. 2009, 86, 730–736. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.09.015>.
16. Soylemez, M.S., Unsal, M. Optimum insulation thickness for refrigeration applications. *Energy Conversion and Management*. 1999, 40, 13–21. [https://www.sci-hub.ru/10.1016/s0196-8904\(98\)00125-3](https://www.sci-hub.ru/10.1016/s0196-8904(98)00125-3).
17. Horn R., Burr M., Fröhlich D., Gschwander S., Held M., Lindner J. P., Schossig P. Life cycle assessment of innovative materials for thermal energy storage in buildings. *Procedia CIRP*. 2018, 69, 206-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.095>.
18. Comaklı K., Yuksel B. Environmental impact of thermal insulation thickness in building. *Applied Thermal Engineering*. 2004, 24, 933–940. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2003.10.020>.
19. Dombaycı O.A., Golcu M., Pancar Y. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. *Applied Energy*. 2006, 83, 921–928. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2005.10.006>.
20. Mohsen M.S., Akash B.A. Some prospect of energy savings in buildings. *Energy Conversion and Management*. 2001, 42, 1307–1315. <https://aurak.ac.ae/publications/Some-prospects-of-energy-savings-in-buildings.pdf>

21. Zhangabay N., Abshenov K., Bakhbergen S., Zhakash A., Moldagaliyev A. Evaluating the Effectiveness of Energy-Saving Retrofit Strategies for Residential Buildings. *Int. Rev. Civ. Eng.* 2022, 13, 118–126. DOI: <https://doi.org/10.15866/irece.v13i2.20933>.
22. Al-Sallal, K.A. Comparison between polystyrene and fiberglass roof insulation in warm and cold climates. *Renewable Energy.* 2003, 28, 603–611. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(02\)00065-4](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(02)00065-4).
23. Umnyakova N.P. Teplozaschita zamknutyih vozdushnyih prosloek s otrazhatelnoy teploizolyatsiey [Thermal protection of closed air layers with reflective thermal insulation.] *Zhilischnoe stroitelstvo.* 2014, 1–2, 16–20 [Elektron.resurs]. –2014. – URL: <http://surl.li/husze>. (in Russ.)
24. SP RK 2.04-107-2013 *Stroitel'naya teplotekhnika.* Astana, 2015. (in Russ.)
25. SP RK 2.04-01-2017 *Stroitel'naya klimatologiya.* Astana, 2017. (in Russ.)

## Н. Жаңабай<sup>1,\*</sup>, С. Буганова<sup>2</sup>, И. Байділлә<sup>1</sup>, А. Тағыбаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті, Шымкент, Қазақстан

<sup>2</sup>Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

### Авторлар туралы ақпарат:

Жаңабай Нұрлан – докторант жетекшісі, техника ғылымдарының кандидаты, «Құрылыс және құрылыс материалдары» кафедрасының доценті, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан  
<https://orcid.org/0000-0002-8153-1449>, email: [Nurlan.zhanabay777@mail.ru](mailto:Nurlan.zhanabay777@mail.ru)

Буганова Светлана - техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық білім беру корпорациясы "Құрылыс технологиялары, инфрақұрылым және менеджмент" факультетінің доценті  
<https://orcid.org/0000-0003-2005-3305>, email: [Svetlanabuganova7@gmail.com](mailto:Svetlanabuganova7@gmail.com)

Байділлә Исламбек – докторант, «Құрылыс және құрылыс материалдары» кафедрасы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан  
<https://orcid.org/0000-0002-9690-7218>, email: [B.Islam2022@rambler.ru](mailto:B.Islam2022@rambler.ru)

Тағыбаев Асхат – докторант, «Құрылыс және құрылыс материалдары» кафедрасы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан  
<https://orcid.org/0000-0002-5980-7349>, email: [t.ashan2021@rambler.ru](mailto:t.ashan2021@rambler.ru)

## АУА ҚАБАТЫ БАР СЫРТҚЫ ҚОРШАУ КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫҢ ЖЫЛУ КЕДЕРГІСІН МОДЕЛЬДЕУ

**Аңдатпа.** Жұмыста ANSYS бағдарламалық кешенінде есептелген әртүрлі шекаралық жағдайларда қоршаудағы температура өрістері зерттелді, мұнда қабаттың немесе арнаның жылу кедергісін анықтау үшін итерациялық есептеу схемасы қолданылды. Барлық әзірленген конструкциялардың ішіндегі ең тиімдісі сыртқы бетінде жылу кедергісі көрсеткіші бойынша басқа конструкциялардан асатын жылу шағылыстыратын экраны бар ауа қабаттары бар конструкция болып табылады: ең төменгі сыртқы температурада 14,5%-ға, ең жоғары температурада – 14,2%-ға, ең суық бес күндік орташа температурада – 16,7%-ға, ал орташа температурада жылыту кезеңі аяқталғаннан кейінгі бірінші айдың температурасы – 16%, ал көлденең немесе тік арналардың жылу кедергісі бірдей мәндерге ие.

**Түйін сөздер:** шағылыстыратын экран, ауа қабаты, жылу оқшаулағыш материал, сыртқы қоршау, жылу кедергісі, температура өрісі.

## N. Zhangabay<sup>1,\*</sup>, S. Buganova<sup>2</sup>, I. Baidilla<sup>1</sup>, T. Askhat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>South-Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

<sup>2</sup>International Education Corporation, Almaty, Kazakhstan

**Information about authors:**

Nurlan Zhangabay – Advisor of the doctoral student, PhD, Associated Professor, Department of Construction and construction materials, South-Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan  
<https://orcid.org/0000-0002-8153-1449>, email: [Nurlan.zhanabay777@mail.ru](mailto:Nurlan.zhanabay777@mail.ru)

Buganova Svetlana – PhD, Associated Professor, Department of Building Technologies, Infrastructure and Management International Education Corporation,  
<https://orcid.org/0000-0003-2005-3305>, email: [Svetlanabuganova7@gmail.com](mailto:Svetlanabuganova7@gmail.com)

Islambek Baidilla - Doctoral student, Department of Construction and construction materials, South-Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan  
<https://orcid.org/0000-0002-9690-7218>, email: [B.Islam2022@rambler.ru](mailto:B.Islam2022@rambler.ru)

Askhat Tagybayev - Doctoral student, Department of Construction and construction materials, South-Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan  
<https://orcid.org/0000-0002-5980-7349>, email: [t.ashan2021@rambler.ru](mailto:t.ashan2021@rambler.ru)

## **MODELING OF THERMAL RESISTANCE OF THE DEVELOPED EXTERNAL ENCLOSING STRUCTURES WITH AN AIR LAYER**

**Abstract.** *The paper investigated the temperature fields in the enclosure under various boundary conditions, which were calculated in the ANSYS software package, where an iterative computational scheme was used to determine the thermal resistance of the interlayer or channel. It is found that of all the developed structures, the most effective is the construction with air layers with a heat-reflecting screen in the outer surface, which exceeds other structures in terms of thermal resistance: at a minimum outdoor temperature by 14.5%, at a maximum temperature by 14.2%, at an average temperature of the coldest five-day period by 16.7%, and at an average temperature of the temperature of the first month after the end of the heating period is 16%, and the thermal resistance of horizontal or vertical channels have almost the same values.*

**Keywords:** *reflective screen, air layer, thermal insulation material, external fencing, thermal resistance, temperature field.*