

15. Шайеш А.К. Дистанционное зондирование и ГИС для водной среды иракских болот. Диссертация. - Технологический университет Ирака, 2006. 124 с.

© Али Аль-Самаветли, А. В. Скопинцев

**Ссылка для цитирования:**

Али Аль-Самаветли, А. В. Скопинцев Функционально-типологические модели туристических комплексов в водно-болотных угодьях Южного Ирака // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 3 (41). С. 82–87.

УДК 721, 72.012, 692

DOI 10.52684/2312-3702-2022-41-3-87-92

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВОЙНОГО ФАСАДА В АРХИТЕКТУРЕ ЗДАНИЙ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ

*А. Э. Ткачук, А. Н. Гойкалов, М. В. Новиков*

**Ткачук Ангелина Эдуардовна**, магистр, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация;

**Гойкалов Андрей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(960)1114440; e-mail: goykalov78@mail.ru;

**Новиков Михаил Викторович**, кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация

Существующая на мировом уровне заинтересованность в арктических территориях требует нового подхода в проектировании, что обеспечит устойчивость данных регионов. В связи с этим обсуждается актуальность применения конструкции двойного фасада в холодном климате. Данная конструкция малоизучена и требует научного обоснования. Проведено исследование влияния ширины буферной зоны двойного фасада на результаты теплотехнического расчета двумерных температурных полей. За базовый регион для последующего расчета был выбран арктический город Мурманск. Исследовано шесть вариантов конструкции узла «перекрытие – наружная стена». Теплотехнические расчеты по каждому из вариантов выполнены с помощью программного обеспечения Elcut Student 6.4. Результаты расчетов сведены в единую таблицу. Найдена взаимосвязь ширины буферной зоны и теплопроводности конструкции двойного фасада. Сделаны выводы и выделены перспективы развития данной конструкции в холодных регионах.

**Ключевые слова:** теплотехника, двойной фасад, теплопроводность, энергосбережение, арктика, освещение, архитектура.

## DOUBLE FACADE DESIGN IN THE ARCHITECTURE OF BUILDINGS IN THE ARCTIC REGIONS

*A. E. Tkachuk, A. N. Goykalov, M. V. Novikov*

**Tkachuk Angelina Eduardovna**, Master, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation;

**Goykalov Andrey Nikolayevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, tel.: +7(960)1114440; e-mail: goykalov78@mail.ru;

**Novikov Mikhail Viktorovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

The existing global interest in the Arctic territories requires a new design approach that will ensure the sustainability of these regions. In this regard, the relevance of using the double facade design in cold climates is discussed. This design is poorly understood and requires scientific justification. A study was made of the influence of the width of the buffer zone of a double facade on the results of a thermotechnical calculation of two-dimensional temperature fields. The Arctic city of Murmansk was chosen as the base region for further calculation. Six options for the design of the "overlapping - outer wall" node were studied. Thermal calculations for each of the options were performed using the Elcut Student 6.4 software. The calculation results are summarized in a single table. The relationship between the width of the buffer zone and the thermal conductivity of the double facade structure is found. Conclusions are drawn and prospects for the development of this design in cold regions are highlighted.

**Keywords:** heat engineering, double skin facade, thermal conductivity, energy saving, arctic regions, lighting, architecture.

### Введение

Сегодня интерес к Арктике значителен на мировом уровне. Эта территория является столкновением экономических, геополитических и стратегических интересов ведущих держав мира, которые в своем рвении готовы инвестировать в эти территории. Такая заинтересованность обуславливается широкой перспективой данных регионов, имеющих богатейший потенциал, в том числе в транспортной, продовольственной и энергоресурсной сферах.

Однако, многие арктические регионы не имеют стабильной ситуации миграционного вопроса, часто склоняясь в отрицательную миграцию [1–2]. Данная проблема не редко связана с

низким качеством социальной составляющей таких регионов. На проблему социальной устойчивости арктических регионов оказывают влияние различные факторы, в том числе и природные особенности географического положения территорий, одной из которых является полярная ночь. Ее продолжительность на северном полюсе составляет полгода.

В таком случае, касательно архитектуры, нужен новый взгляд на совмещение утилитарной функции строения, сочетая в себе решения по энергосбережению и архитектурному освещению.

Одним из таких решений является Double Skin Facade. Он представляет собой многослойную конструкцию из внешнего и внутреннего

стеклянного контура с воздушным зазором между ними. Внешний контур защищает от тепловых, солнечных, аэродинамических, акустических и других воздействий, обеспечивая благоприятное качество внутренней среды в зданиях за счет естественной вентиляции, дневного освещения, необходимого уровня шумоизоляции, контроля тепла и солнечной энергии [3–4].

Согласно методу «The method for evaluation the characteristics of architectural lighting of buildings» [5] Double Skin Facade относится к освещению архитектуры по принципу здания типа «фонарь» («self-illuminated»).

В данном проекте такую роль на себя берет двойной фасад. По всему миру ученые заинтересованы конструкцией двойного фасада, его эффектом энергосбережения. В работе [6] приведено осредненное значение по экономии тепловой энергии двойными фасадами, составляющее 33 %.

Аналитическими исследованиями [7] установлена экономия энергии от 10 до 50 %. Авторы исследований [8] получили энергосбережение в 70,5 %, 27,6 % и 31 % для разных регионов соответственно. Энергоэффективность данной конструкции обеспечивается преимущественно путем образования воздушного зазора между двумя контурами стены. Энергосбережение достигается за счет возврата в помещение части теряемой теплоты от наружных ограждений в зимнее время и за счет увеличения сопротивления теплопередачи наружного ограждения при устройстве замкнутых воздушных прослоек летом.

### Эксперимент

В рамках данной статьи, для анализа двумерных температурных полей конструкции двойного стеклянного фасада был запроектирован бизнес-центр и выбран базовый регион – арктический город Мурманск (рис. 1).

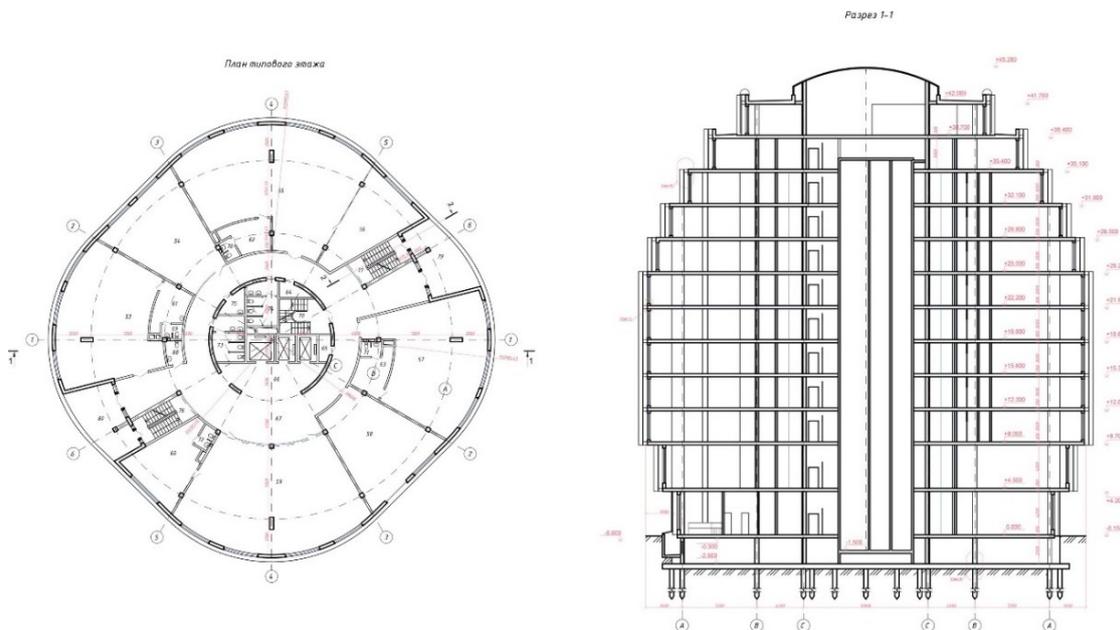


Рис. 1. Проект бизнес-центра в г. Мурманск. План и разрез

Мурманск - самый большой город мира за Полярным кругом, который является крупным морским транспортным узлом и рыбопромышленным центром России, занимающим ведущие позиции в экономике региона, а также его финансовым, деловым и культурным центром. По схематической карте климатического районирования для строительства территории России г. Мурманск приурочен к подрайону –IIА.

Город Мурманск расположен в довольно суровой по климатическим условиям субарктической зоне. Но за счет влияния теплого Нордкапского течения, являющегося продолжением Гольфстрима, климат его характеризуется, как умеренный с относительно прохладным сырым летом, высокой влажностью воздуха, большой облачностью и муссонными ветрами.

Важным условием формирования климата г. Мурманска является приток суммарной солнечной радиации. Полуденная высота солнца колеблется от 0 (солнце не поднимается над горизонтом во время полярной ночи) до 44° (во время полярного дня). Продолжительность дня колеблется от 0 до 24 ч. Полярная ночь в Мурманске начинается с 29 ноября и заканчивается 13 января, т. е. продолжается 44 дня, а полярный день – с 22 мая по 22 августа – 93 дня.

Общий приток суммарной радиации на горизонтальную поверхность за год составляет 61,4 ккал/см<sup>2</sup>. Она меняется от 0 в декабре до 13,1 ккал/см<sup>2</sup> в июне. При этом процент от возможной суммарной радиации за год составляет 56 %, а в марте и апреле, за счет уменьшения облачности, достигает 70–71 %.

Радиационный баланс отрицателен в течение всей зимы и во второй половине осени

(с сентября по март включительно), т. е. подстилающая поверхность больше тепла теряет от излучения, чем получает его от солнца, в остальную часть года происходит обратное явление. Радиационный баланс за год равен 14,7 ккал/см<sup>2</sup>.

В рамках данного исследования проведен теплотехнический расчет двумерных температурных полей по представленным ниже вариантам конструкций (рис. 2).

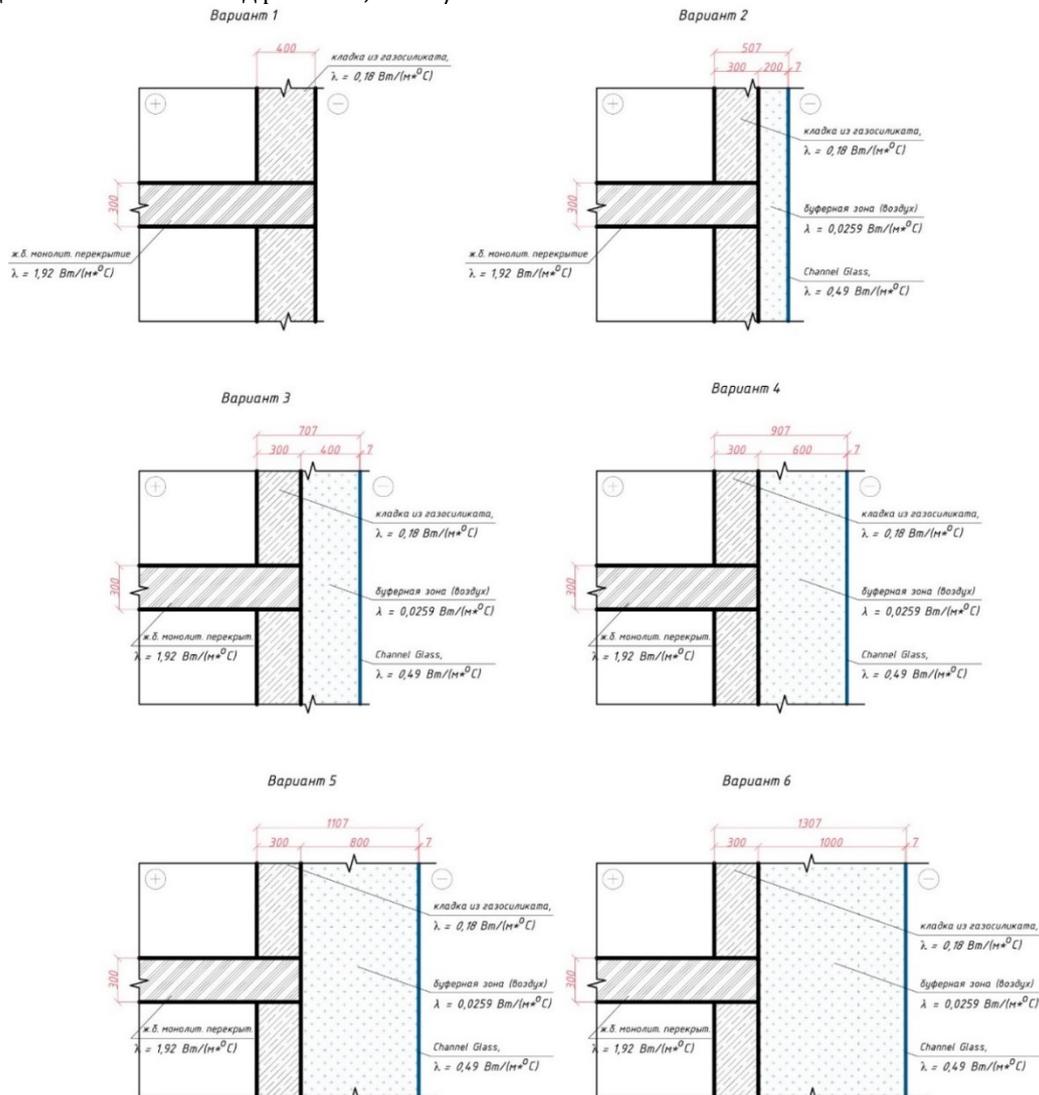


Рис. 2. Варианты конструкции узла перекрытие – наружная стена

- В расчетах приняты следующие значения:
- температура внутреннего воздуха 20 °С;
  - температура наружного воздуха –27 °С (соответствует значению температуры холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 для Мурманска согласно СП 131.13330.2012);
  - $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$  (СП 131.13330.2012);
  - $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$  (СП 131.13330.2012);
  - для определения точки росы влажность воздуха взята равной 55 % (отн.), в соответствии с санитарно-гигиеническим требованием СП 50.13330.2012;
  - влажностный режим помещений – нормальный (СП 50.13330.2012);
  - зона влажности территории – влажная (СП 50.13330.2012);
  - условия эксплуатации – Б (СП 50.13330.2012);

- нормируемый температурный перепад  $\Delta t_n = 4,5 \text{ °С}$  (табл. 5, СП 50.13330.2012).
- Принятые значения температуры и влажности внутреннего воздуха соответствуют температуре точки росы 10,7 °С.
- Коэффициенты теплопроводности, принятые в расчете:
  - железобетонное монолитное перекрытие:  $\lambda = 1,92 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$ ;
  - кладка из газосиликатных блоков:  $\lambda = 0,18 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$ ;
  - Channel Glass (стеклянный канал):  $\lambda = 0,49 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$ ;
  - буферная зона (воздух):  $\lambda = 0,0259 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$ .
- Сегодня разделение несущих и теплоизолирующих функций строительных материалов в

конструкциях зданий является основой концепции теплоэффективного здания и повышения уровня его тепловой защиты [9–11].

В рамках данных исследований основной целью принято обоснование использования конструкции двойного фасада с выявлением наиболее оптимальной ширины буферной зоны с учетом выполнения санитарно-гигиенического требования (п. 5.7 СП 50.13330.2012), которое регламентирует, что температура поверхности должна быть выше точки росы в расчетных условиях. Исследования проведены путем расчета температурных полей конструкций. Все

расчеты для уменьшения количества узлов логически фрагментированы по оси симметрии. Для расчетов использовано программное обеспечение Elcut Student 6.4.

**Теплотехнический расчет вариантов конструкции узлов перекрытие-наружная стена**

Исследованы варианты узлов перекрытие-наружная стена, представленные на рисунке 2.

На рисунке 3 представлен итог теплотехнического расчета вариантов конструкции узлов перекрытие-наружная стена.

На рисунке 4 показан график изменения температуры в разрезе конструкции по линии а-б, обозначенной на рисунке 3.

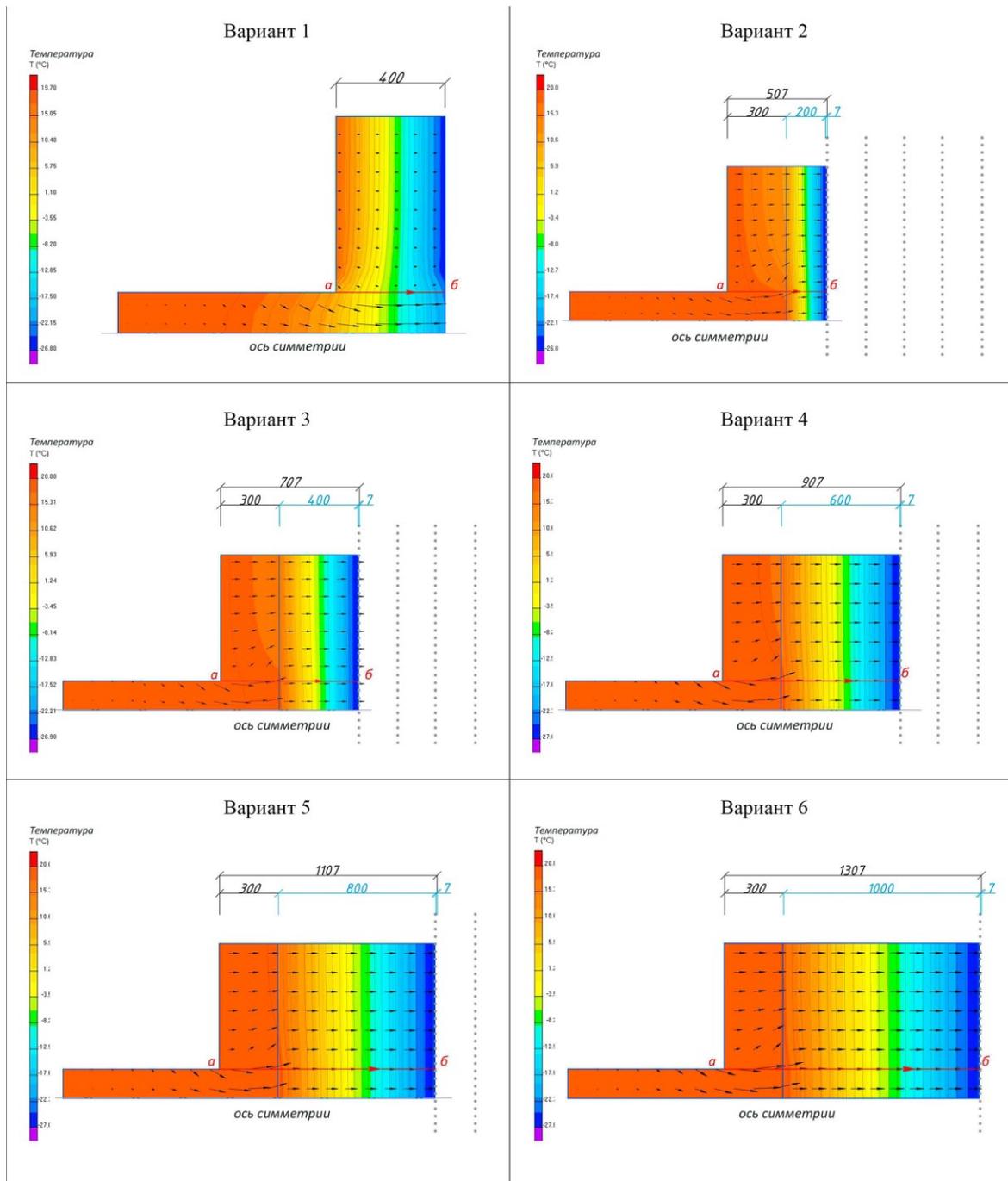


Рис. 3. Теплотехнический расчет вариантов конструкции узлов

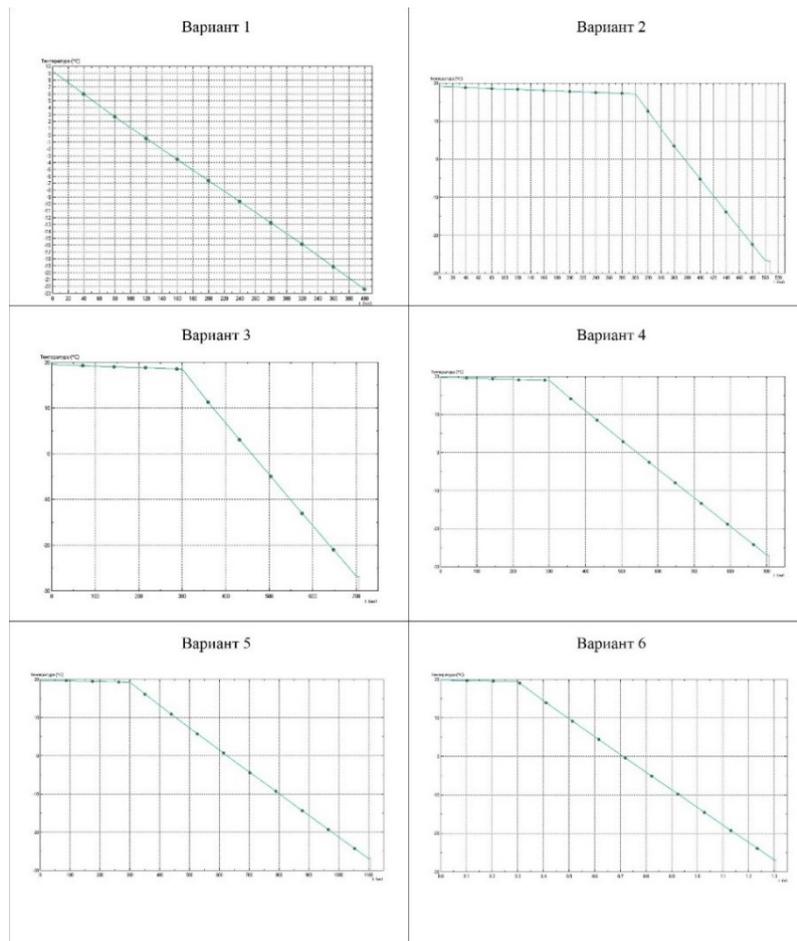


Рис. 4. Графики изменения температуры в разрезе конструкции по линии а-б по всем вариантам

### Оценка результатов

Результаты анализа двумерных температурных полей вариантного проектирования конструкции двойного стеклянного фасада, в частности шести вариантов, сведены в таблице и на рисунке 5.

В данной таблице использованы следующие обозначения:

$\Phi$  – тепловой поток по двум внутренним поверхностям, Вт;

$\Delta T$  – разница температур двух внутренних поверхностей, оС;

$T_s$  – средняя температура двух внутренних поверхностей, оС.

$T_f$  – температура поверхности в углу между полом и стеной, оС.

Таблица 1

### Сводные данные результатов шести вариантов узлов

Описание узла	$\Phi$	$\Delta T$	$T_s$	$T_f$
Вариант 1 – кладка из газосиликата (400 мм)	29,118	3,5787	17,319	9,128
Вариант 2 – двойной фасад, ширина буферной зоны (200 мм)	3,7181	0,92161	19,669	19,124
Вариант 3 – двойной фасад, ширина буферной зоны (400 мм)	2,0441	0,44794	19,822	19,523
Вариант 4 – двойной фасад, ширина буферной зоны (600 мм)	1,3307	0,40418	19,878	19,687
Вариант 5 – двойной фасад, ширина буферной зоны (800 мм)	1,0533	0,23279	19,907	19,758
Вариант 6 – двойной фасад, ширина буферной зоны (1000 мм)	0,75515	0,26211	19,925	19,812

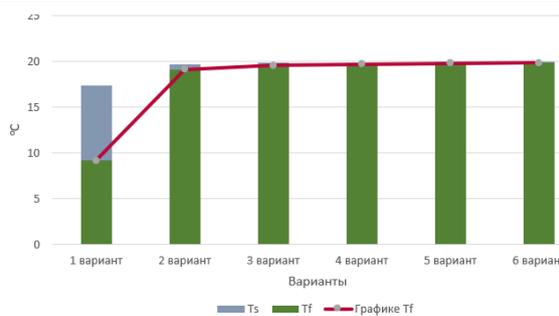


Рис. 5. График изменения  $T_s$  и  $T_f$ , оС

Из полученных данных можно наблюдать, что с увеличением буферной зоны от 200 до 1000 мм средняя температура двух внутренних поверхностей ( $T_s$ ) системно возрастает. Соответственно, с увеличением ширины буферной зоны разница температур двух внутренних поверхностей ( $\Delta T$ ) уменьшается. Наиболее оптимальной шириной для буферной зоны можно считать 200 мм и 600 мм в случае необходимости обеспечения прохода в буферной зоне. При варианте с техническим проходом, следует

предусмотреть консольное основание для прохода, кроме того, запроектировать в нем вентиляционные отверстия.

Использование конструкции двойного фасада в холодном регионе оправдано, учтено выполнение санитарно-гигиенического требования (п. 5.7 СП 50.13330.2012), которое регламентирует, что температура поверхности должна быть выше точки росы в расчетных условиях.

#### 4. Выводы

1. Использование конструкции Double-Skin Facad в архитектурных решениях зданий для арктических регионов оправдано не только для

создания эффекта «self-illuminated», но и благодаря подбору оптимальной ширины буферной зоны демонстрирует достаточные показатели энергоэффективности.

2. С увеличением буферной зоны средняя температура двух внутренних поверхностей системно возрастает на 10–15 % при уменьшении разницы температур.

3. Оптимальную ширину для буферной зоны Double-Skin Facad в Мурманске можно принять 200 мм и 600 мм при необходимости обеспечения прохода в буферной зоне. Консольное основание для прохода рекомендуется проектировать с вентиляционными отверстиями.

#### Список литературы

1. Васильев В.В., Селин В.С. Анализ особенностей производства и жизнедеятельности человека на Севере России // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2017. № 1(52). С. 17–25.
2. Новиков М.В. Основные принципы планирования территории жилого района в условиях крайнего севера / М.В. Новиков, А.В. Попова, Л.П. Салогуб // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2019. – № 4(37). – С. 21–27.
3. Norhazwani Khairdzira, Nooriati Taibb, Properties and design of double skin facade in the tropics. — Malaysia Architectural Journal, Vol.2 (Issue.2) 65-72, Aug 2020. с.65 – 72.
4. Бродач М., Шилкин Н. Стекланные двойные фасады // АВОК-ПРЕСС, 2015. с.33-45.
5. Ткачук А.Э., Сотникова О.А., Гойкалов А.Н. Метод оценки характеристик архитектурного освещения зданий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 2 (36). С. 47–53.
6. Pomponi, F. Energy performance of Double-Skin Facades in temperate climates: a systematic review and meta-analysis / F. Pomponi, Poorang A. E. Piroozfar, R. Southall, P. Ashton // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – № 54. – Pp. 1525-1536.
7. Stribling, D. and Stigge, B. (2002) A Critical Review of the Energy Savings and Cost Payback Issues of Double Facades.
8. Васильева И. Л. Снижение энергопотребления здания с применением конструкции двойного стеклянного фасада / И. Л. Васильева, Д. В. Немова, Н. И. Ватин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 3(14). – С. 17-25.
9. М.В. Новиков, А.Н. Гойкалов. Расчет и конструирование элементов зданий из ячеистых бетонов: учебное пособие для вузов. – Москва: Знание-М, 2021. - 212 с.
10. Novikov, M.V. Strain-Stress Distribution of Structural Components from Foam Concrete for Monolithic Construction / M. V. Novikov, E. M. Chernyshov, E. E. Prokshits // Key Engineering Materials. 2021. - Vol. 887 - pp. 711-717.
11. Novikov, M., Goykalov, A., Bogatova, T. (2022). Experimental Research of Compressed Masonry Elements Made of Gas Silicate Blocks with Foam Concrete Cores. In: Manakov, A., Edigarian, A. (eds) International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. pp 1399-1406. TransSiberia 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 403. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96383-5\\_156](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96383-5_156)

© А. Э. Ткачук, А. Н. Гойкалов, М. В. Новиков

#### Ссылка для цитирования:

Ткачук А. Э., Гойкалов А. Н., Новиков М. В. Проектирование двойного фасада в архитектуре зданий арктических регионов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 3 (41). С. 87–92.

УДК 004.94:004.92:69:72:004  
DOI 10.52684/2312-3702-2022-41-3-92-95

## ПРИМЕНЕНИЕ GRASSHOPPER, RHINO И ARCHICAD ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ЭЛЕМЕНТЫ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ

К. А. Шумилов, Ю. А. Гурьева

**Шумилов Константин Августович**, кандидат технических наук, доцент (кафедра Информационных технологий), Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация, тел. +7-931-224-89-50; e-mail: shkas@mail.ru;

**Гурьева Юлиана Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, тел.: +7-921-367-44-75, e-mail: Yual2017@mail.ru

Проанализированы возможности работы с программами Grasshopper, Rhino и Archicad для моделирования архитектурных объектов различных форм со сложной пространственной геометрией на примере таких объектов, как Балочная конструкция и Параметрическая скамья. Разработаны и представлены в статье программные коды для параметрического моделирования приведенных сооружений. Исследованные объекты содержат повторяющиеся сложные элементы, именно поэтому было выбрано параметрическое моделирование, так как его использование позволяет успешно и быстро работать с подобными структурами. Приведенные скрипты (ноды, модификаторы и их связки) являются наиболее рациональными для