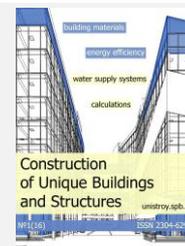


## Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru)



### Численное моделирование стационарного теплообмена панельного здания серии ОД4

И.А. Гаас<sup>1</sup>, С.А. Старцев<sup>2</sup>, Н.С. Харьков<sup>3</sup>, Д.С. Шуравина<sup>4</sup>

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.

#### ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

#### История

Подана в редакцию 11 ноября 2013

#### Ключевые слова

энергоэффективность  
энергосбережение  
теплопроводность  
ограждающая конструкция  
влажность  
тепловизионная съемка  
панели  
швы

#### АННОТАЦИЯ

Представлены результаты численного моделирования стационарного теплообмена в трехмерной модели участка панельного здания серии ОД-4. Показана зависимость тепловых потерь от физических параметров строительных материалов ограждающей конструкции. Результаты моделирования удовлетворительно согласовываются с данными проведенной авторами тепловизионной съемки. Расчет выполнен для обоснования технологии восстановления теплофизических характеристик ограждающих конструкций панельных зданий за счёт применения полисульфидных лент для герметизации межпанельных швов. Наружные условия выбраны для климатического региона - Санкт-Петербург. Увеличение теплотерь через ограждающие конструкции при снижении их теплофизических характеристик относительно проектных показателей доходит до 30%. Определена экономическая эффективность герметизации швов по указанной выше технологии.

#### Содержание

1. Введение	24
2. Постановка задачи	24
3. Численное моделирование	24
4. Результаты численного моделирования	29
5. Выводы	31

Контактный автор:

<sup>4</sup> +7 (950) 035 1813, [shdaria@list.ru](mailto:shdaria@list.ru) (Шуравина Дарья Михайловна, магистрант)

<sup>1</sup> +7 (965) 758 0958, [gaas.ivan@gmail.com](mailto:gaas.ivan@gmail.com) (Гаас Иван Андреевич, бакалавр)

<sup>2</sup> +7 (911) 134 6039, [StartsevSA@biospacestroy.ru](mailto:StartsevSA@biospacestroy.ru) (Старцев Сергей Александрович, старший преподаватель)

<sup>3</sup> +7 (906) 255 0243, [nkharkov@mail.ru](mailto:nkharkov@mail.ru) (Харьков Никита Сергеевич, к.т.н, доцент)

## 1. Введение

После окончания Великой Отечественной войны половина европейской части СССР лежала в руинах. Перед советским правительством стояла очень сложная задача восстановления промышленности, жилья и инфраструктуры страны на оккупированной территории. Лишь в начале 60-х годов прошлого века было найдено решение быстрого возведения зданий и сооружений – панельное домостроение, которое позволило в сжатые сроки построить миллионы квадратных метров жилья. В тоже время особенности конструкции подобного типа сооружений в процессе эксплуатации приводят к повышенным теплотерям, связанным с негерметичностью швов в панельных зданиях, обусловленных не только инфильтрацией воздуха из квартир, но в значительной степени намоканием плит.

Это обусловлено, прежде всего, тем, что невозможно мастику нанести на шов равномерным по толщине слоем. Из-за этого в слое мастики образуются раковины, поры и даже сквозные отверстия. Кроме того, после нанесения мастики на межпанельные швы здания приобретают неопрятный вид. Как показала практика в Германии, применение полисульфидных лент обеспечивает герметичность шва не менее чем на 25 лет и придаёт зданиям опрятный эстетичный вид. Восстановление теплофизических характеристик панелей (полное высыхание 1-1,5 года) позволяет снизить расходы на отопление на 30-40%. Несмотря на большое количество публикаций по теме настоящего исследования, в нашей стране не существует единой общепринятой методики расчета количества теплотер здания при увеличении коэффициентов теплопроводности за счёт намокания строительных материалов. В данной статье приведены результаты численного моделирования стационарного теплообмена в трехмерной модели участка панельного здания серии ОД-4. Полученные результаты позволяют оценить экономическую целесообразность применения технологии герметизации швов полисульфидной лентой.

## 2. Обзор иностранной и отечественной литературы

За прошедшие годы конструкция панелей существенно улучшилась, с точки зрения обеспечения необходимого теплоспротивления ограждающих конструкций, разработаны новые методики, технологии повышения их энергоэффективности, по-прежнему остро стоит проблема обеспечения герметичности швов между панелями [1-16].

На протяжении полувека проблему швов в панельных зданиях пытаются решить с помощью различных мастик и герметиков [1]. Опыт показывает, что применяемые в настоящее время мастики обеспечивают герметичность шва не более 2-5 лет, что меньше заявленного производителями срока службы в 4 раза [11].

## 3. Постановка задачи

Цель настоящей работы: показать влияние на теплотери здания теплотехнических показателей материалов ограждающих конструкции и провести сопоставление результатов численного моделирования с данными тепловизионной съемки.

Расчет, предложенный в статье, предназначен в первую очередь для обоснования новой технологии восстановления герметизации швов между панелями и их теплотехнических характеристик. Также эта статья может быть предназначена для экспертов в области энергоаудита зданий, которым в процессе своей работы приходится заполнять Приложения № 13,20 формы энергопаспорта по Приказу Минэнерго РФ от 19.04.2010 номер 182, согласно которой необходимо рассчитать сроки окупаемости рекомендуемых энергосберегающих мероприятий. В работе представлена методика расчета окупаемости мероприятий только для существующих зданий, когда по результатам проведенного энергоаудита здания требуется восстановление герметизации межпанельных швов.

## 4. Численное моделирование

Численное моделирование в программном комплексе Ansys 14.0 выполнено для трех случаев:

1. «Проектные показатели здания» - теплотехнические параметры материалов при вводе здания в эксплуатацию;
2. Условия эксплуатации здания в соответствии с зоной влажности в Санкт-Петербурге при сохранении целостности конструкции межпанельных швов;
3. Оценочный расчет (в условиях нарушения целостности конструкции межпанельных швов) при существенном ухудшении теплотехнических свойств материалов.

На рисунках 1,2 в качестве модели для исследования выбран участок панельного здания серии ОД-4, состоящий из четырех оконных блоков.



Рисунок 1. Панельное здание серии ОД-4

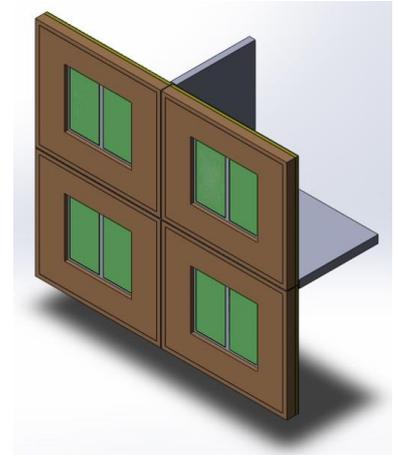


Рисунок 2. Общий вид модели

Характеристики серии ОД-4 [17]:

- Тип дома – панельный;
- Этажность – 5;
- Количество секций – 4;
- Габариты здания – 64x10 м;
- Высота здания – 15 м;
- Годы строительства – 1957-1963.

Города распространения – Санкт-Петербург

На рисунке 3 показаны геометрические размеры и материалы модели.

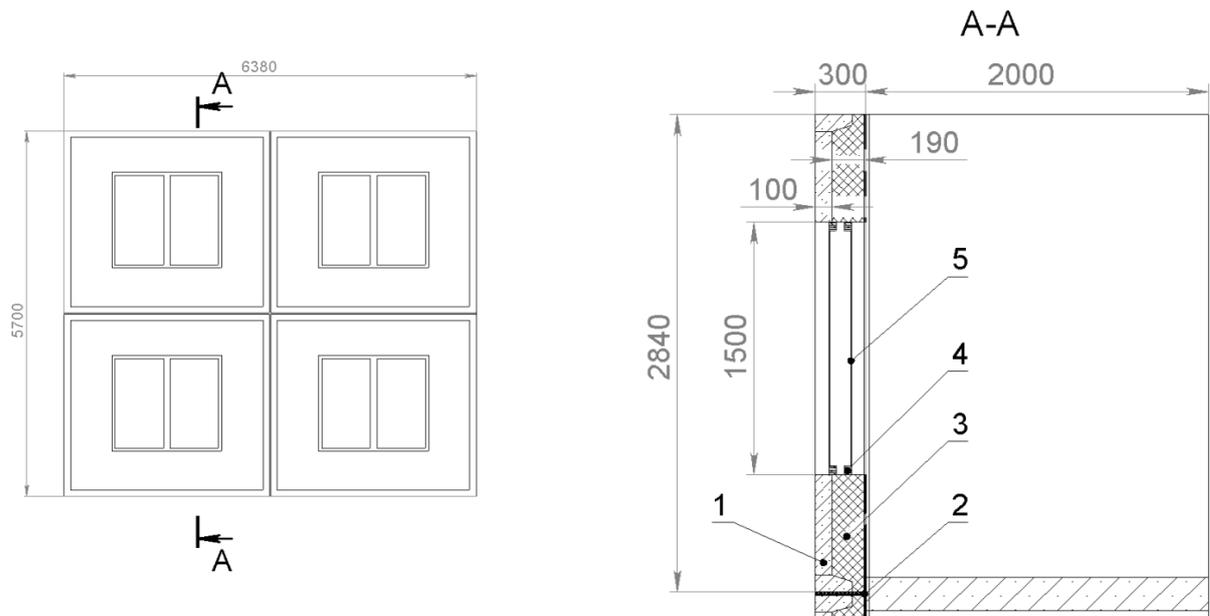


Рисунок 3. Геометрические размеры и материалы модели [17]

1 – Железобетон; 2 – Цементно-песчаный раствор; 3 – Керамзитобетон; 4 – Дерево; 5 – Стекло.

**Теплотехнические показатели материалов**

При вводе здания в эксплуатацию теплотехнические показатели материалов приняты в соответствии с [18], Приложение Ф и приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Условия эксплуатации А**

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/м*С
Железобетон	2500	2	1,92
Керамзитобетон	800	9	0,29
Цементно-песчаный раствор	1800	2	0,76
Дерево	500	15	0,14
Стекло	2500	-	0,76

В таблице 2 приведены характеристики материалов условиях эксплуатации здания в соответствии с зоной влажности в Санкт-Петербурге.

**Таблица 2. Условия эксплуатации Б**

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/м*С
Железобетон	2500	3	2,04
Керамзитобетон	800	13	0,35
Цементно-песчаный раствор	1800	4	0,93
Дерево	500	20	0,18
Стекло	2500	-	0,76

В таблице 3 показаны характеристики материалов условиях повышенной влажности, вызванной нарушением целостности межпанельных швов здания.

Таблица 3. Условия повышенной влажности

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влажность, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/м*С
Железобетон	2500	4	2,16
Керамзитобетон	800	30	0,45
Цементно-песчаный раствор	1800	10	1,2
Дерево	500	20	0,18
Стекло	2500	-	0,76

Данные для железобетона и керамзитобетона приняты на основе результатов исследований свойств бетонов в зависимости от состава и степени влажности [19,20].

Данные для цементно-песчаного раствора приняты оценочно, полагая нарушение целостности межпанельного шва.

#### Граничные условия

Площадь поверхности наружной стены  $A=36,66 \text{ м}^2$ ;

Температура внутри помещения:  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Температура наружного воздуха:  $-7 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Скорость ветра ( $v$ ):  $2 \text{ м/с}$ ;

Коэффициент теплоотдачи за счет конвекции на наружной стене определяет по формуле Франка [20]:

$$\alpha_k = 6,31 \cdot v^{0,656} + 3,25e^{-1,91v}$$

$$\alpha_k = 10 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

На наружной стене задано условие теплоотдачи излучением в окружающую среду, при этом:

Фактор формы  $F=1$

Коэффициент излучения  $\epsilon=0,95$ .

На внутренней вертикальной поверхности модели коэффициент теплоотдачи определяется по формуле:

$$\alpha_k = 1,43 \sqrt[3]{\Delta t},$$

где  $\Delta t = 6 \text{ }^\circ\text{C}$  – температурный перепад между температурой воздуха и поверхности.

$$\alpha_k = 2,6 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

Для горизонтальных поверхностей  $\alpha_k$  уменьшен на 30% (пол) и увеличен на 30% (потолок) [20].

На торцевых поверхностях модели ставится условие нулевой скорости теплового потока.

Допущения:

- теплотери за счет инфильтрации не учитываются;
- воздухопроницаемость через оконные конструкции отсутствует;
- коэффициенты теплопроводности материалов постоянны и не зависят от температуры;
- температурное сопротивление контактов поверхностей модели отсутствует (идеальный контакт).

Модель разбита на структурированную сетку, состоящую из гексаэдральных и тетраэдральных элементов. Общее количество элементов – 103459, количество узлов – 428855 (рисунок 4).

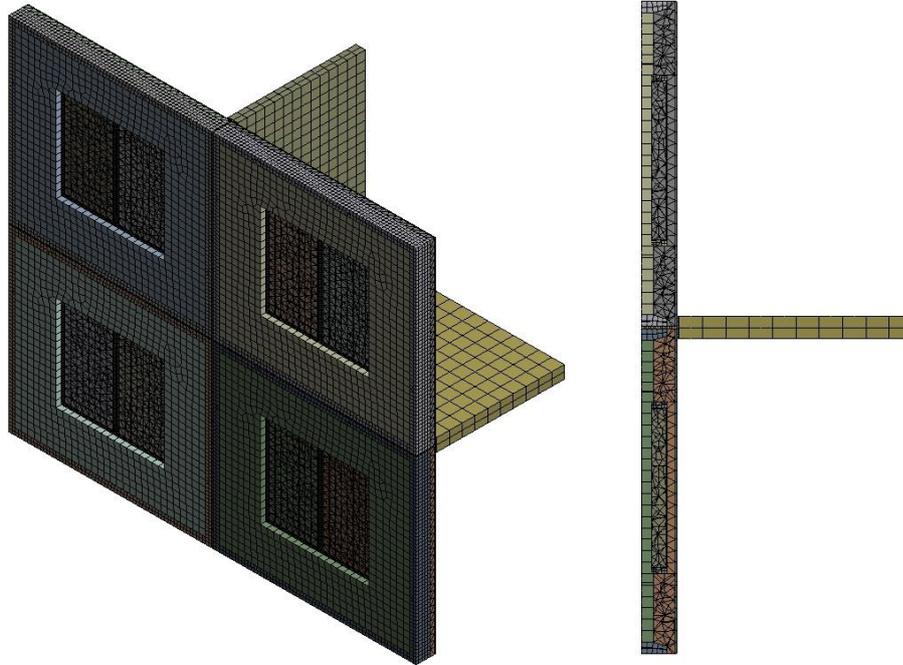


Рисунок 4. Расчетная сетка

В ходе стационарного теплового анализа решается система дифференциальных уравнений теплопроводности:

$$[K(T)]\{T\} = \{Q(T)\} + \{Q_{rad}(T)\},$$

где  $[K(T)]$  – матрица теплопроводности;

$\{T\}$  – вектор температуры (температурное поле);

$\{Q(T)\}$  – вектор скорости генерации тепла в системе;

$\{Q_{rad}(T)\}$  – вектор скорости генерации тепла излучением.

Решение выполнялось итерационным решателем (iterative solver).

## 5. Результаты численного моделирования

На рисунке 5 и таблице 4 показаны результаты численного моделирования.

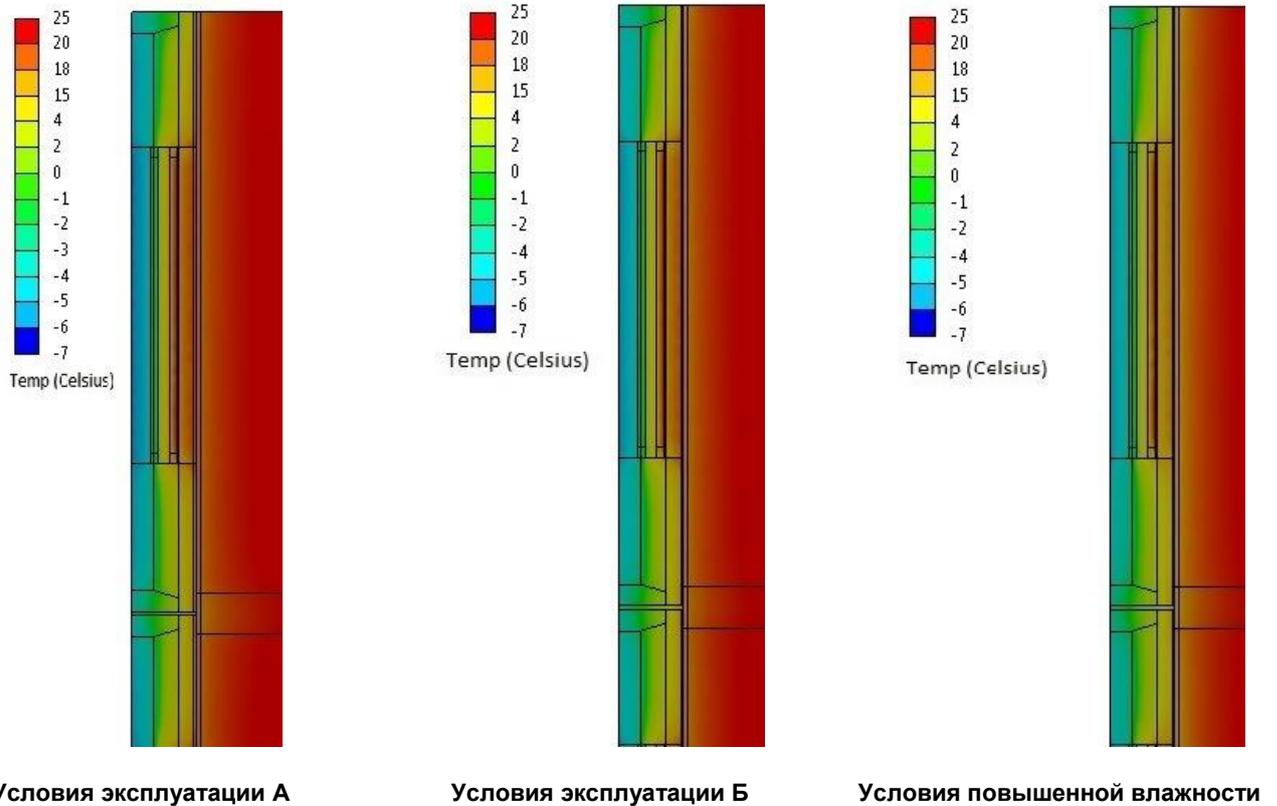


Рисунок 5. Эпюры распределения температуры в поперечном сечении модели при различных условиях эксплуатации

Таблица 4. Результаты численного моделирования

Условия эксплуатации	Среднее значение температуры поверхности наружной стены, °С	Теплопотери, ккал/ч	Увеличение теплопотерь относительно условий эксплуатации А, %
А	-5,21	883	-
Б	-4,9	1019	15,4
Повышенная влажность	-4,7	1143	29,4

Результаты сопоставления численного моделирования с данными тепловизионной съемки (таблица 5) показаны на рисунках 6, 7.

Таблица 5. Данные тепловизионной съемки

Тип панельного дома	Площадь поверхности рассматриваемого участка, м <sup>2</sup>	Температура наружного воздуха, °С	Скорость ветра, м/с	Среднее значение температуры поверхности рассматриваемого участка, °С	Теплопотери, ккал/ч
Новый панельный дом	37	-7	2	-5,2	905,6
Панельный дом серии ОД-4	36,3	-7	2	-4	1483

Теплопотери по данным тепловизионной съемки рассчитывались следующим образом:

$$Q = \alpha \cdot A \cdot (t_1 - t_2)$$

$$\alpha = \alpha_n + \alpha_k$$

$$\alpha_k = 6,31 \cdot v^{0,656} + 3,25e^{-1,91v}$$

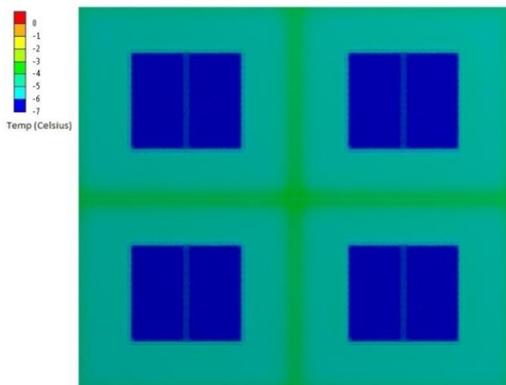
$$\alpha_n = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} \cdot \frac{\left[\frac{t_1 + 273}{100}\right]^4 - \left[\frac{t_2 + 273}{100}\right]^4}{t_1 - t_2}$$

где  $C_1 = 4,71$  – коэффициент излучения поверхности здания;

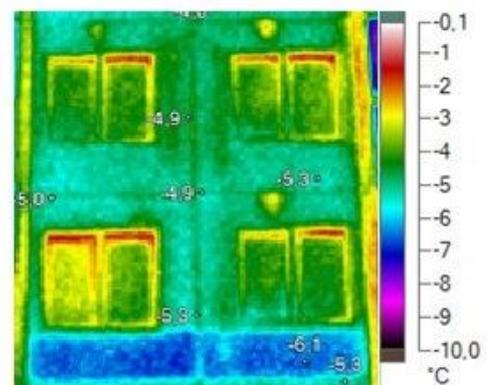
$C_2 = C_0 = 4,96$  - коэффициент излучения окружающей среды и абсолютно черного тела;

$t_1$ - среднее значение температуры поверхности рассматриваемого участка;

$t_2$ - температура наружного воздуха.

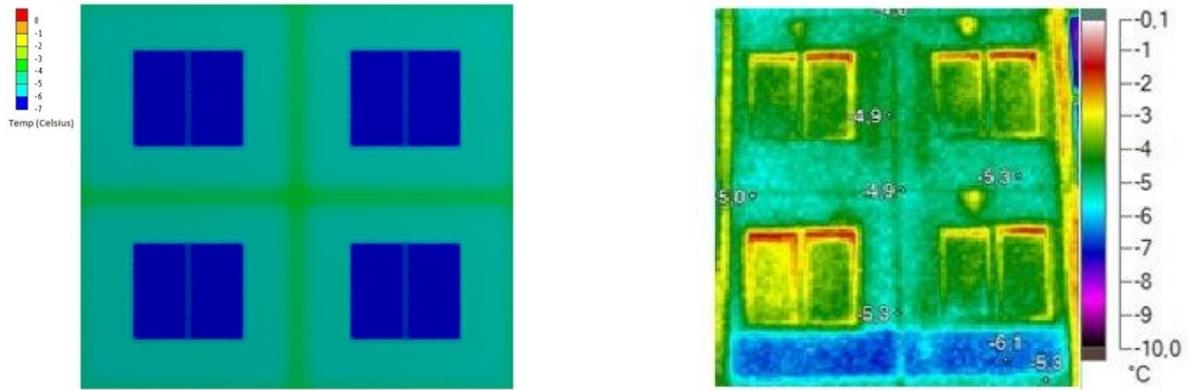


а) Условия эксплуатации



б) Новый панельный дом

Рисунок 6. Сопоставление численного моделирования с данными тепловизионной съемки



а) Условия повышенной влажности

б) Панельный дом серии ОД-4

Рисунок 7. Сопоставление численного моделирования с данными тепловизионной съемки

Данные тепловизионной съемки нового панельного дома показывают удовлетворительное соответствие с результатами численного моделирования в условиях эксплуатации А, разница значений теплотерь не более 2,5 %.

В случае сопоставления расчета в условиях повышенной влажности с данными тепловизионной съемкой дома серии ОД-4 наблюдается существенная разница значений теплотерь (около 30%). Это объясняется повышенным влиянием таких факторов как инфильтрация и воздухопроницаемость оконных конструкций, а также фактически более низкими теплотехническими параметрами материалов по сравнению с заданными в расчете.

Ниже представлены результаты экстраполяции теплотерь (таблица 6), полученных численным моделированием, на боковую поверхность здания серии ОД-4 (без учета потерь тепла через подвал и кровлю).

Таблица 6. Теплотери через боковую поверхность здания серии ОД-4

Условия эксплуатации	Теплотери на 1 м <sup>2</sup> , ккал/ч	Теплотери всей боковой поверхности здания*, ккал/ч	Затраты на теплотери за отопительный период, руб.
А	24,3	53946	364250
Б	30,3	67266	454188
Повышенная влажность	31,4	69708	470676

Прим. Тариф на тепловую энергию в городе Санкт-Петербурге с 01.01.2013 - 1175 руб./Гкал

## 6. Выводы

В статье приведен расчет тепловых потерь здания, при увеличении коэффициентов теплопроводности строительных материалов. Из-за проблем с разгерметизацией стыков ограждающих конструкций панельных зданий и проникновением влаги внутрь панели. Расчет выполнен путем математического моделирования в программном комплексе Ansys 14.0.

Результаты работы:

1. Выполнено численное моделирование ограждающей конструкции панельного здания, в результате которого определен тепловой поток проходящей через ограждающие конструкции панельных зданий, в результате увлажнения конструкции. По причине разгерметизации стыковых соединений панелей.

2. Сравнительный анализ численного моделирования с данными тепловизионной съемки показал удовлетворительное соответствие результатов для нового панельного здания, теплофизические свойства панельных зданий при длительной эксплуатации оказались существенно хуже принятых в расчете.

3. Повышение влажности внутри конструкции на 5%, от проектных характеристик, ведет к увеличению теплопотерь на 15% (относительно проектных показателей), при повышении влажности на 17% теплопотери возрастают на 29,4%.

4. Сумма затрат на теплопотери за отопительный период составляет

- с проектными характеристиками материалов 53946 ккал/ч – или в пересчете 364250 (триста шестьдесят четыре тысячи двести пятьдесят рублей);
- с условиями эксплуатации Б 67266 ккал/ч – или в пересчете 454188 (четыреста пятьдесят четыре тысячи сто восемьдесят восемь рублей);
- с условиями эксплуатации В 69708 ккал/ч – или в пересчете 470676 (четыреста семьдесят тысяч шестьсот семьдесят шесть рублей).

## Литература

1. Соминский М.Б. Герметизация и утепление стыков наружных ограждений эксплуатируемых панельных зданий. Л.: Стройиздат. 1995, 72 с.
2. Бойко М.Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий. - Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1975. 336 с.
3. Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply. Federal Ministry of Economics and Technology. Berlin, (BMW) Public relations. 2010. 32 p.
4. Yuriy A. Matrosov, Mark Chao, Cliff Majersik Increasing Thermal Performance and Energy Efficiency of Buildings in Russia: Problems and Solutions. [Электронный ресурс]. Систем требования: AdobeAcrobatReader. URL <http://www.cenef.ru/file/St-267e.pdf> (дата обращения 05.05.2013).
5. Бойко М.Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1975. 336 с.
6. Шевчук С.И., Минько С.С., Момот В.Я. Композиция для гидроизоляции и герметизации, Баглай. 2001. 206 с.
7. Баглай А.П. Карапузов Е.К. Новые полимерные материалы // Строительные материалы и конструкции, 1999. №3. 12 с.
8. Баглай А.П. Карапузов Е.К., Кузнецов А.Д. Герметизация стыков // Строительство и архитектура. 2003. №5. С.15-16.
9. Баглай А.П. Карапузов Е.К., Шилов А.А. Надежная герметизация стыков // Городское хозяйство, 2004. №4. С.14-15.
10. Баглай А.П. Карапузов Е.К., Омельченко А.А. Герметизация стыков сборных зданий и сооружений. К.: Будивельник, 1999. 143 с.
11. Гулимов А.Г., Петербургский П.Г. Исследования деформации мастики в швах цементнобетонных покрытий // Труды СогаздорНИИ. М.: 1986. С. 82-96.
12. Danny L.D. Harvey Recent Advances in Sustainable Buildings: Review of the Energy and Cost Performance of the State-of-the-Art Best Practices from Around the World // Annual Review of Environment and Resources. 2013. Vol. 38. Pp. 281-309.
13. John E. Fernández. Materials for Aesthetic, Energy-Efficient, and Self-Diagnostic Buildings // Science. 2007. Pp. 1807-1810.
14. Donald Watson Energy Use and Building Design // Science. 1977. Pp. 391-392.
15. Michael E. Gleeson. Renovation of Public Housing: Suggestions from a Simple Model. Management Science. Vol. 38, No. 5, Pp. 655-666.
16. Abdou A. A., Budaiwi I. M. Comparison of thermal conductivity measurements of building insulation materials under various operating temperatures // Journal of Building Physics. Vol. 29. No. 2. Pp. 171-184.
17. Панельные здания Петербурга. Технические характеристики. Проектные решения. Методы ремонта. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Winrar. URL <http://dwg.ru/dnl/load.php?id=4105&z=.rar> (дата обращения 02.03.2013).
18. СП 50.131330.2012 Тепловая защита зданий.
19. Ячеистые и поризованные бетоны на стеклощелочном связующем / Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Борискин А.С. // Транспортное строительство. 2009. № 8. С. 14-17.
20. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 4-у, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1973. с. 287

## Numerical modeling of stationary heat exchange panel building OD4 series

I. A. Gaas<sup>5</sup>, S.A. Startsev<sup>6</sup>, N.S. Kharkov<sup>7</sup>, D.S. Shuravina<sup>8</sup>

*Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.*

### ARTICLE INFO

### Article history

Received 11 November 2013

### Keywords

energy efficiency  
energy conservation  
thermal conductivity  
fencing structure  
moisture  
thermovision  
panels  
joints

### ABSTRACT

Results of numerical modeling of stationary heat exchange in three-dimensional model of a site of the panel building of the OD-4 series are presented in article. Dependence of thermal losses on physical parameters of construction materials of a protecting design is shown. Results of modeling are well coordinated with data of the thermovision shooting carried out by authors. Calculation for justification of technology of recovery of heatphysical characteristics of protecting designs of panel buildings due to application of polysulphidic tapes for sealing of interpanel seams is executed. External conditions for the climatic region of St. Petersburg are chosen. The increase in heatlosses through protecting designs at decrease in their heatphysical characteristics of rather design indicators reaches 30%. Economic efficiency of sealing of seams is defined.

---

*Corresponding author:*

<sup>4</sup> +7 (950) 035 1813, shdaria@list.ru (Darya Mikhailovna Shuravina, graduate student)

<sup>1</sup> +7 (965) 758 0958, gaas.ivan@gmail.com (Ivan Andreevich Gaas, B.Sc.)

<sup>2</sup> +7 (911) 134 6039, StartsevSA@biospacestroy.ru (Sergey Aleksandrovich Startsev, senior lecturer)

<sup>3</sup> +7 (906) 255 0243, nkharkov@mail.ru (Nikita Sergeevich Kharkov, Ph. D., associate professor)

## References

1. Sominsky M. B. *Germetizatsiya i utepleniye stykov naruzhnykh ograzhdeniy ekspluatiruyemykh panelnykh zdaniy Stroimzdat* [Sealing and warming of joints of external protections of operated panel buildings]. L.: Stroimzdat 1995, 72 p. (rus)
2. Quickly M. D. *Diagnostika povrezhdeniy i metody vosstanovleniya ekspluatatsionnykh kachestv zdaniy* [Diagnostics of damages and restoration methods of qualities of buildings]. L. : Stroyizdat, Leningrad, 1975. 336 p. (rus)
3. Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply. Federal Ministry of Economics and Technology. Berlin, (BMWi) Public relations. 2010. 32 p.
4. Yuriy A. Matrosov, Mark Chao, Cliff Majersik Increasing Thermal Performance and Energy Efficiency of Buildings in Russia: Problems and Solutions. [web source]. AdobeAcrobatReader. URL <http://www.cenef.ru/file/St-267e.pdf> (date of reference: 05.05.2013)
5. Boiko.M.D. *Diagnostika povrezhdeniy i metody vosstanovleniya ekspluatatsionnykh kachestv zdaniy* [Diagnostics of damages and restoration methods of qualities of buildings]. L. : Stroyizdat, Leningrad, 1975. 336 p. (rus)
6. Shevchuk S. I., Minko S. S., Momot V. Ya Kompozitsiya dlya gidroizolyatsii i germetizatsii [Kompozition for a waterproofing and Sealing] Baglay. 2001. 206 p. (rus)
7. Baglay A.P. Karapuzov E.K. *Novyye polimernyye materialy. Stroitelnyye materialy i konstruksii* [New polymeric materials. Construction materials and designs]. 1999. No. 3. 12 p. (rus)
8. Baglay A.P. Karapuzov E.K. Kuznetsov A.D. *Germetizatsiya stykov. Stroitelstvo i arkhitektura* [Sealing of joints. Construction and architecture], 2003. No. 5. Pp. 15-16. (rus)
9. Baglay A.P. Karapuzov E.K. Shilov A.A. *Nadezhnaya germetizatsiya stykov* [Reliable sealing of joints]. - Municipal economy, 2004. No. 4. Pp. 14-15. (rus)
10. Baglay A.P. Karapuzov E.K. Omelchenko A.A. *Germetizatsiya stykov sbornyykh zdaniy i sooruzheniy* [Sealing of joints of combined buildings and constructions] *Budivel'nik*, 1999. 143 p. (rus)
11. Gulimov A.G. *the Petersburg P. G. Issledovaniya deformatsii mastiki v shvakh tsementnobetonnykh pokrytiy* [Research of deformation of mastic in seams the tsementnobetonnykh of coverings]. - *Tr. Sogazdorniya. M.:* 1986 . Pp. 82-96. (rus)
12. Danny L.D. Harvey Recent Advances in Sustainable Buildings: Review of the Energy and Cost Performance of the State-of-the-Art Best Practices from Around the World. *Annual Review of Environment and Resources*. 2013. Vol. 38: Pp. 281-309.
13. John E. Fernández Materials for Aesthetic, Energy-Efficient, and Self-Diagnostic Buildings. *Science*. 30 March 2007: Pp. 1807-1810.
14. Donald Watson Energy Use and Building Design. *Science* 28 October 1977: Pp. 391-392.
15. Michael E. Gleeson Renovation of Public Housing: Suggestions from a Simple Model. *Management Science*, Vol. 38, No. 5 (May, 1992), Pp. 655-666.
16. Abdou, A. A., Budaiwi , I. M. Comparison of thermal conductivity measurements of building insulation materials under various operating temperatures. *Journal of Building Physics*, Vol. 29, No. 2, Pp. 171-184.
17. Panel buildings of Petersburg. Technical characteristics. Design decisions. Repair methods. [web source]. Systems. requirements: Winrar. URL <http://dwg .ru/dnl/load.php?id=4105&z=.rar> (date of reference 02.03.2013)
18. SP 50.131330.2012 *Teplovaya zashchita zdaniy* [Thermal protection of buildings] (rus)
19. *Yacheistyye i porizirovannyye betony na steklyushchelochnom svyazuyushchem / Erofeyev V. T. Bogatov A.D. Bogatova S. N., Boriskin A.S. // Transportnoye stroitelstvo* [Cellular and porizirovanny concrete on steklyushchelochny binding. Transport construction]. 2009 . No. 8. Pp. 14-17. (rus)
20. Fokin K.F. *Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy* [Stroitel'naya of the heating engineer of protecting parts of buildings]. Prod. to the 4th reslave. and additional *M., Stroyizdat*, 1973. p. 287 (rus)