



Взаимозаменяемость теплозащиты ограждений в жилых зданиях и другие мероприятия по энергосбережению

Рецензия эксперта на статью получена 01.03.2019 [Expert review on the article received Mart 1, 2019].

Задача снижения энергопотребления зданий за счёт рационального выбора сопротивлений теплопередаче и научно обоснованных методов теплотехнического расчёта наружных ограждений при сохранении технико-экономических показателей объекта стоит на повестке дня уже достаточно давно. Различные подходы к исследованиям подобного рода рассматриваются в многочисленных работах ряда авторов, как отечественных, так и зарубежных, например, [1–7].

В последнее время, в связи с изменением отечественной нормативной базы в области теплозащиты и расчёта энергопотребления зданий, расширились возможности для снижения сопротивления теплопередаче несветопрозрачных ограждающих конструкций по сравнению с базовыми значениями, в том числе за счёт повышения теплозащиты заполнения светопроёмов. Это очень существенно, поскольку при действующем уровне цен и тарифов дополнительная теплоизоляция является одним из наиболее затратных и медленно окупающихся энергосберегающих мероприятий, а жилые

здания занимают одно из основных мест в объёме нового строительства. Поэтому целесообразно выявить реально достижимые пределы снижения теплозащиты несветопрозрачных конструкций при соответствующем повышении сопротивления теплопередаче оконных блоков, в зависимости от конструктивных характеристик жилых зданий и параметров наружного климата, и оценить получаемый при этом экономический эффект. Особую актуальность данный вопрос приобретает в настоящее время, в связи с принятием Федерального закона №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...».

Расширились возможности для снижения сопротивления теплопередаче несветопрозрачных ограждающих конструкций по сравнению с базовыми значениями, в том числе за счёт повышения теплозащиты заполнения светопроёмов

УДК 697.1. Научная специальность: 05.23.03.

Взаимозаменяемость теплозащиты ограждений в жилых зданиях и другие мероприятия по энергосбережению

Олег Д. Самарин, к.т.н., доцент; Ольга И. Балобанова, студент магистратуры; Александра М. Маланьина, студент магистратуры, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Рассмотрена существующая ситуация с нормированием энергопотребления жилых и общественных зданий в России и основы отечественных и зарубежных предложений по сокращению энергозатрат при строительстве и эксплуатации гражданских и промышленных объектов различного назначения. Представлен расчёт энергетических показателей группы жилых зданий с использованием понятия удельной теплозащитной характеристики. Выявлены пределы взаимозаменяемости несветопрозрачных и светопрозрачных наружных ограждений здания по уровню их теплозащиты. По результатам технико-экономической оценки определён оптимальный уровень повышения сопротивления теплопередаче оконных блоков, в зависимости от удельной стоимости теплоизоляционного материала в ограждающих конструкциях. Изложены дополнительные направления по энергосбережению при реконструкции существующего жилого фонда в Московском регионе и представлены некоторые результаты реализации соответствующей государственной программы.

Ключевые слова: энергопотребление, теплозащита, теплоизоляция, оконный блок, взаимозаменяемость.

UDC 697.1. Number of scientific specialty: 05.23.03.

Mutual substitution of thermal protection of external enclosures in residential buildings and other energy saving measures

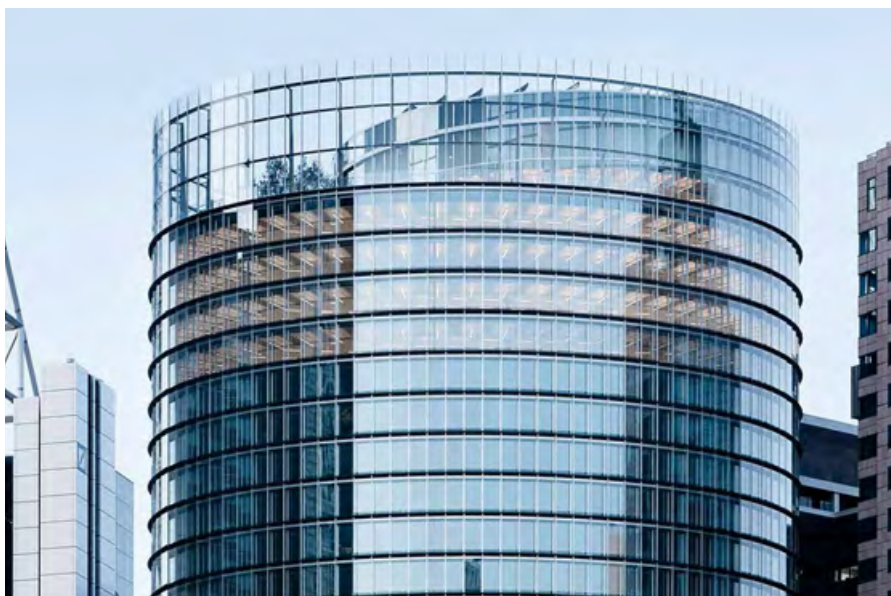
Oleg D. Samarin, PhD, Associate Professor; Olga I. Balobanova, graduate student; Aleksandra M. Malanyina, graduate student, National Research University Moscow State of Civil Engineering (NRU MGSU)

The current situation with the regulation of energy consumption of residential and public buildings in Russia and the basis of domestic and foreign proposals to reduce energy costs in the construction and operation of civil and industrial facilities for various purposes are considered. The calculation of energy indicators of a group of residential buildings using the concept of specific thermal performance of a building is presented. The limits of interchangeability of non-translucent and translucent external barriers of the building on the level of their thermal protection are revealed. According to the results of technical and economic evaluation, the optimal level of increasing the resistance to heat transfer of window blocks depending on the specific cost of the thermal insulation material in the enclosing structures was determined. Additional directions on energy saving during reconstruction of the existing housing stock in the Moscow region are stated and some results of realization of the corresponding state program are presented.

Key words: energy consumption, thermal performance, thermal insulation, window unit, mutual substitution.

Данный вопрос рассматривался ранее в работе [8] на примере одного объекта общественного назначения. Чтобы получить более статистически достоверные результаты, были проведены расчёты для 13 жилых зданий высотой от пяти до 20 этажей по типовым и индивидуальным проектам. Для использования в качестве исходных данных были определены по чертежам их геометрические характеристики: площади наружных ограждений A_i [м²] и отапливаемый объём зданий $V_{от}$, м³. Расчёт производился для различных климатических условий, которые представлены в табл. 1.

В данной таблице $GCOП$ — градусо-сутки отопительного периода; t_b — средняя температура внутреннего воздуха в здании; $t_{от}$ — средняя температура наружного воздуха за отопительный пе-



результаты расчёта $GCOП$ для различных климатических условий

табл. 1

Город	t_b , °C	$t_{от}$, °C	$z_{от}$, сут.	$GCOП$, К-сут.
Краснодар	20	2,5	145	2538
Москва	20	-2,2	205	4551
Новосибирск	20	-8,1	221	6210

Связь между коэффициентами m_p ограждений здания при постоянстве $k_{об}$

табл. 2

Город	Коэффициент	Значения								
Краснодар	m_p для окон	1,0	1,050	1,100	1,150	1,200	1,250	1,300	1,350	1,400
	m_p для НС и ПК	1,0	0,930	0,874	0,829	0,791	0,760	0,733	0,709	0,689
Москва	m_p для окон	1,0	1,050	1,100	1,150	1,200	1,250	1,300	—	—
	m_p для НС и ПК	1,0	0,909	0,840	0,785	0,741	0,705	0,674	—	—
Новосибирск	m_p для окон	1,0	1,050	1,100	1,150	1,200	—	—	—	—
	m_p для НС и ПК	1,0	0,892	0,813	0,752	0,703	—	—	—	—

риод; $z_{от}$ — продолжительность отопительного периода. Значения $t_{от}$ и $z_{от}$ принимались по данным СП 131.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» (далее — СП 131), а величина t_b во всех случаях считалась равной +20°C по требованиям ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Нормируемое значение приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций $R_{о}^{норм}$ [(м²·К)/Вт] определяется по формуле:

$$R_{о}^{норм} = R_{о}^{тп} m_p,$$

в соответствии с СП 50.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» (далее — СП 50), где $R_{о}^{тп}$ — базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции [(м²·К)/Вт], определённое по табл. 3 СП 50 через величину $GCOП$ для каждого района строительства; m_p — региональный коэффициент, минимальный уровень которого со-

ставляет 0,63 для наружных стен, 0,95 — для светопрозрачных конструкций и 0,8 для всех остальных.

Первоначально в расчётах принимается $m_p = 1$. Чтобы допустить его снижение, необходимо, чтобы удельная теплозащитная характеристика здания $k_{об}$ [Вт/(м³·К)] не превышала нормируемого значения $k_{об}^{тп}$ (пункт 5.2 СП 50). Параметр $k_{об}$ по физическому смыслу является произведением общего коэффициента теплопередачи оболочки здания $K_{общ}$ [Вт/(м²·К)] и коэффициента компактности здания $K_{комп}$, м⁻¹. Требуемая теплозащитная характеристика рассчитывается в зависимости от $GCOП$ и $V_{от}$ по формуле, приведённой в СП 50 для $V_{от} > 960$ м³:

$$k_{об}^{тп} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013 GCOП + 0,61}. \quad (1)$$

Постоянство условия $k_{об} \leq k_{об}^{тп}$ позволяет устанавливать связь между нормируемыми сопротивлениями теплопередаче отдельных ограждений (несветопр-

зрачных конструкций и окон), показывая, насколько можно уменьшить одно из них при увеличении другого. Так как в формуле (1) $R_{о}^{тп}$ изначально рассчитывается по базовым значениям, то для снижения $R_{о}^{норм}$ несветопрозрачных ограждений необходимо снизить для них коэффициенты m_p — конечно, в пределах их минимальных значений, при этом увеличивая m_p заполнения светопроёмов. Поскольку рассматриваемые жилые здания имеют разные геометрические характеристики и этажность, то и предел увеличения коэффициента m_p для окон в каждом случае индивидуален. Для климатических

Чтобы получить более статистически достоверные результаты, были проведены расчёты для 13 жилых зданий высотой от пяти до 20 этажей по типовым и индивидуальным проектам. Для использования в качестве исходных данных были определены по чертежам их геометрические характеристики

условий Краснодара его максимальный уровень составил $m_p = 1,7$ (70%), для Москвы $m_p = 1,45$ (45%) и для Новосибирска $m_p = 1,4$ (40%).

Для упрощения дальнейших вычислений было принято, что требуемые по условию постоянства $k_{об}$ значения m_p для наружных стен и покрытия (НС и ПК) одинаковы, поэтому их поведение в зависимости от принимаемого m_p для окон можно рассчитать. В табл. 2 приведены данные для одного из использованных жилых зданий в качестве примера.

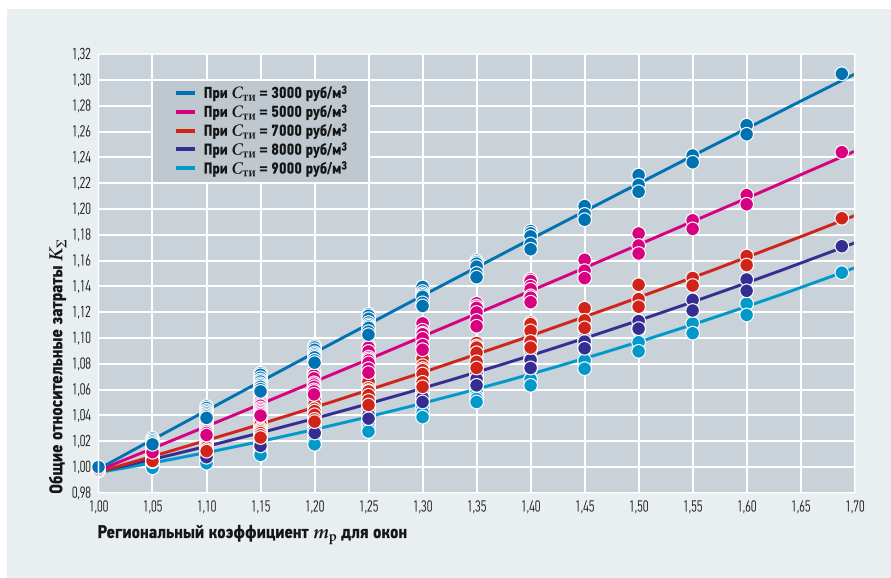


Рис. 1. Связь между коэффициентом m_p для окон и суммарными относительными затратами на устройство ограждений зданий для условий Краснодара

В качестве теплоизоляционного материала используем минераловатные плиты «Технофас» теплопроводностью $\lambda_{ти} = 0,042$ Вт/(м·К) для условий эксплуатации Б. Принимаем коэффициенты теплотехнической однородности для стены $r_{нс} = 0,7$; для покрытия и перекрытия над подвалом $r_{пт} = r_{пл} = 0,95$. Капитальные затраты на теплоизоляцию $K_{ти}$ [руб.] рассчитываются исходя из объёма теплоизоляционного материала в конструкциях $V_{ти}$ [м³] и величины его удельной стоимости $C_{ти}$, руб/м³.

Анализ цен на строительном рынке показывает, что величина $C_{ти}$ в зависимости от качества материала и конкретного производителя на конец 2018 года может меняться в диапазоне от 3000 до 9000 руб/м³, а также позволяет описать связь удельной стоимости светопрозрачных конструкций от их теплозащитных свойств в следующем виде [9]:

$$K_{ок,уд} = 10000 \sqrt[3]{R_{ок}^2}, \text{ руб/м}^2.$$

Исходя из этого капитальные затраты на установку окон $K_{ок}$ [руб.] во всё здание будут рассчитываться как произведение $K_{ок,уд}$ и площади окон $A_{ок}$. Тогда общие капитальные затраты будут являться суммой $K_{ти}$ и $K_{ок}$.

Так как объём теплоизоляционного материала и площади оконных блоков являются постоянными величинами, то итоговые капитальные затраты будут зависеть от стоимости теплоизоляции. В данной работе были рассмотрены пять вариантов стоимости теплоизоляционного материала в указанном выше диапазоне. Для повышения наглядности графиков полученные в рублях цены были переведены в условные единицы относительно общих капитальных затрат на материалы при $m_p = 1$ для окон и $m_p = 1$ для наружных стен и покрытия.

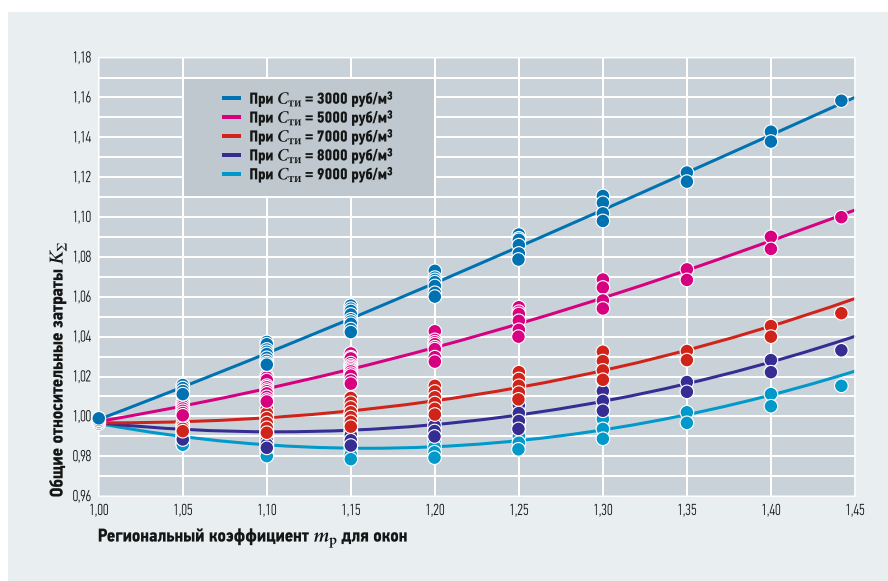


Рис. 2. Связь между коэффициентом m_p для окон и суммарными относительными затратами на устройство ограждений зданий для условий Москвы

На рис. 1, 2 и 3 показаны результаты расчётов изменения суммарных условных капитальных затрат на теплоизоляционные материалы и заполнения светопроёмов для всех жилых зданий и вариантов стоимости материалов, в относительных единицах, от принимаемого уровня m_p для окон. Маркерами отмечены значения, полученные для конкретных объектов, а сплошными линиями — аппроксимирующие зависимости.

Из рис. 1 видно, что при любой стоимости теплоизоляционного материала кривые не имеют минимума. Это означает, что допрасходы на установку остекления с более высокими теплозащитными свойствами в этом случае оказываются выше, чем достигаемая экономия за счёт сокращения объёма теплоизоляции. По-видимому, это можно объяснить невысоким значением ГСОП для Краснодара, поэтому для районов с более благоприятными

климатическими условиями целесообразнее принимать первоначальный вариант с $m_p = 1$ для всех ограждений.

По графикам на рис. 2 и 3 можно заметить, что для умеренной и более высоких $C_{ти}$ уже существуют некоторые оптимальные значения $m_p > 1$ у окон и, соответственно, $m_p < 1$ у стен и покрытия, при которых суммарные затраты на устройство наружных ограждений оказываются наименьшими. Наиболее заметно это из графика для условий Новосибирска, который имеет самое высокое значение ГСОП из рассматриваемых территорий. Таким образом, при проектировании жилых зданий в городах с суровыми климатическими условиями и при более дорогостоящем применении теплоизоляционного

материале выгоднее становится установка энергоэффективного остекления.

В то же время в ряду технологий, которые дают наиболее значимый энергосберегающий эффект, эксперты называют и модернизацию теплозащиты зданий. Затраты тепловой энергии снижаются при проведении капитальных ремонтов жилых и общественных зданий с осуществлением работ по утеплению наружных стен, окон с применением современных теплоизоляционных материалов.

Однако при этом срок окупаемости дополнительного утепления ограждающих конструкций в ряде случаев составляет 25–35 лет и более. Кроме того, утеплять стены выше сопротивлений теплопередачи, характерных для строительства в 1970-е и 1980-е годы (сверх уровня $R_0 = 1,1–1,5$ м²·К/Вт) практически не имеет смысла, так как это уже почти не даёт необходимой экономии. В то же время

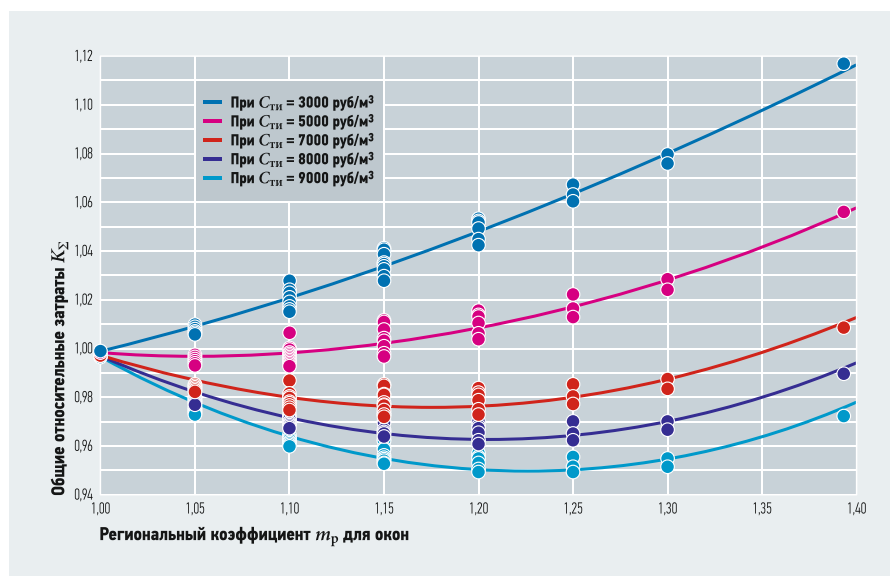


Рис. 3. Связь между коэффициентом m_p для окон и суммарными относительными затратами на устройство ограждений зданий для условий Новосибирска

при проведении капремонтов значительные государственные средства были потрачены на повышение теплозащиты. Но не всегда задачу энергосбережения можно решить данным способом, для этого нужен комплексный подход [9]. Зачастую неплохой энергетический эффект получается от модернизации инженерных систем зданий. В частности, можно говорить об автоматизации и модернизации центральных тепловых пунктов.

В качестве примера можно привести данные Московской объединённой энергетической компании (МОЭК) [10]. Во время выполнения программы энергосбережения МОЭК по повышению энергоэффективности систем теплоснабжения в соответствии с постановлением правительства Москвы от 28 октября 2008 года №1012 «О городской целевой программе “Энергосбережение в городе Москве на 2009–2011 годы и на перспективу до 2020 года”» были выполнены следующие работы:

1. Перекладка 2370 км магистральных и 2340 км разводящих сетей с использованием современных технологий бесканальной прокладки теплопроводов в изоляции из пенополиуретана (ППУ); изоляции с системой оперативно-дистанционного контроля (ОДК) увлажнения изоляции. Благодаря такой технологии удаётся существенно снизить эксплуатационные издержки на обслуживание тепловых сетей и повысить долговечность трубопроводов до 30–40 лет. Для сравнения можно отметить, что при традиционных подходах он ограничивается, как правило, всего 8–12 годами. При этом наиболее важной была признана реконструкция сетей с трубами малого диаметра, как наименее надёжных, поскольку до 96% аварийных случаев относится именно к ним. Однако в силу большой

протяжённости сети доля трубопроводов в ППУ составляет на сегодняшний день всего около 30%.

2. Реконструировано и автоматизировано 10 104 тепловых пунктов. На объектах были внедрены узлы учёта тепловой энергии, а также установлены частотные преобразователи на насосы систем отопления и ГВС. Это позволило усовершенствовать погодозависимое регулирование подачи теплоты на нужды отопления в тепловых пунктах. Теперь заданный температурный график в системах поддерживается в соответствии с фактическими текущими наружными температурами. При этом регуляторы автоматически корректируют выбранный график. Осуществлена также замена кожухотрубных теплообменников на пластинчатые, у которых значительно лучше показатели, связанные с компактностью и коэффициентом теплопередачи. Благодаря автоматизации и реконструкции тепловых пунктов система теплоснабжения становится очень гибкой и имеет возможность подстраиваться под климатические параметры, что даёт существенную экономию ресурсов.

3. Произведена оптимизация схем теплоснабжения. Ликвидирована большая часть открытых систем теплоснабжения с элеваторным узлом из-за отсутствия или несовершенства приборов автоматического регулирования. Одновременно удалось, по крайней мере частично, заменить цен-

Благодаря технологии бесканальной прокладки теплопроводов в изоляции из пенополиуретана удаётся существенно снизить эксплуатационные издержки на обслуживание тепловых сетей и повысить долговечность трубопроводов до 30–40 лет

тральные тепловые пункты (ЦТП), служащие для организации централизованного горячего водоснабжения по четырёхтрубной схеме, на индивидуальные водоподогреватели в каждом здании. Произведена замена устаревшего оборудования (арматура, грязевики, насосы) и трубопроводов. В некоторых домах изменена система отопления, а именно — осуществлён переход с однотрубной на двухтрубную. В новостройках стали применять лучевую схему отопления, так как она является наиболее простой и удобной в регулировании теплового потока.

Таким образом, можно прийти к выводу, что относительно малозатратные и быстрокупаемые энергосберегающие мероприятия, к которым относится в том числе и модернизация тепловых пунктов [9], способны дать заметный экономический эффект даже в рамках одной энергетической компании в одном городе. Поэтому несомненно, что использование данного опыта в более широких масштабах территории Российской Федерации даст возможность добиться существенно снижения общего энергопотребления и тем самым хотя бы в некоторой степени приблизить удельные энергозатраты на обеспечение функционирования инженерных систем зданий к уровню, характерному для других стран. ●

1. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Об оценке энергетической эффективности энергосберегающих мероприятий // Инженерные системы. АВСК-Северо-Запад, 2014. №2. С. 26–29.
2. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учёт теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // Строительные материалы, 2013. №6. С. 14–16.
3. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчёта приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы, 2010. №12. С. 4–12.
4. Кривошеин А.Д. К вопросу о проектировании тепловой защиты светопрозрачных и непрозрачных конструкций [Электр. ресурс]. Портал «Окна, Двери, Фасады». Режим доступа: odf.ru. Дата обращения: 28.02.2016.
5. Friess W.A., Rakhshan K., Hendawi T.A., Tajerzadeh S. Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency. Energy and Buildings. 2012. No. 44. Pp. 26–32.
6. Pailho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. Sustainable Cities and Society. 2015. No. 14. Pp. 5–15.
7. Tae Sup Yun, Yeon Jong Jeong, Tong-Seok Han, Kwang-Soo Youm. Evaluation of thermal conductivity for thermally insulated concretes. Energy and Buildings. 2013. No. 61. Pp. 125–132.
8. Самарин О.Д. Применение удельной теплозащитной характеристики здания для выявления взаимозаменяемости ограждений по уровню теплозащиты / Сб. докл. V Межд. науч.-техн. конф. «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». — М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2013. С. 73–77.
9. Самарин О.Д. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Изд-во АСВ, 2015. 136 с.
10. Макотрина Л.В., Селех Е.В. Энергосбережение в центральных тепловых пунктах // Вестник ИРГТУ, 2012. №7. С. 120–125.

References — see page 95.

Mutual substitution of thermal protection of external enclosures in residential buildings and other energy saving measures. Pp. 88–91.

Oleg D. Samarin, PhD, Associate Professor; **Olga I. Balobanova**, graduate student; **Aleksandra M. Malanyina**, graduate student, National Research University Moscow State of Civil Engineering (NRU MGSU)

1. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. *Ob ocenke jenergeticheskoy jeffektivnosti jenergoberegajushhih meroprijatij* [About an assessment of power efficiency of energy saving actions]. *Inzhenernye sistemy. AVOK-Severo-Zapad* [Engineering systems. AVOK-Northwest]. 2014. No. 2. Pp. 26–29. [In Russian]
2. Gagarin V.G., Dmitriev K.A. *Uchet teplohnicheskikh neodnorodnostej pri ocenke teplozashhity ograzhdajushhih konstrukcij v Rossii i evropejskix stranah* [Account of thermal non-uniformities during estimation of thermal performance of building enclosures in Russia and European countries]. *Stroitel'nye materialy* ["Construction materials" Magazine]. 2013. No. 6. Pp. 14–16. [In Russian]
3. Gagarin V.G., Kozlov V.V. *Teoreticheskie predposylki rascheta privedennogo soprotivlenija teploperedache ograzhdajushhih konstrukcij* [Theoretical reasons for calculation of reduced thermal resistance of building enclosures]. *Stroitel'nye materialy* ["Construction materials" Magazine]. 2010. No. 12. Pp. 4–12. [In Russian]
4. Krivoshein A.D. *K voprosu o proektirovanii teplovoj zashhity svetoprozrachnyh i neprozrachnyh konstrukcij* [On the question of design of thermal protection of translucent and opaque constructions]. *Portal "Okna. Dveri. Fasady"* ["Windows. Doors. Facades"] corporate web-portal]. Web-source: odf.ru. Access data: February 28, 2016. [In Russian]
5. Friess W.A., Rakhshan K., Hendawi T.A., Tajerzadeh S. Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency. *Energy and Buildings*. 2012. No. 44. Pp. 26–32.
6. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. *Sustainable Cities and Society*. 2015. No. 14. Pp. 5–15.
7. Tae Sup Yun, Yeon Jong Jeong, Tong-Seok Han, Kwang-Soo Youm. Evaluation of thermal conductivity for thermally insulated concretes. *Energy and Buildings*. 2013. No. 61. Pp. 125–132.
8. Samarin O.D. *Primenenie udel'noj teplozashhitnoj harakteristiki zdaniya dlja vyjavenija vzaimozamenjaemosti ograzhdenij po urovnju teplozashhity. Sb. dokl. V Mezhd. nauch.-tehn. konf. "Teoreticheskie osnovy teplogazosnabzhenija i ventiljacii"* [Using of specific thermal performance of a building for estimation of mutual substitution of external enclosures on their thermal protection. Proc. of 5th International Scientific and Technical Conference "Theoretical Foundations of Heat and Gas Supply and Ventilation"]. Moscow. *Izd-vo MISI-MGSU* [Publishing House of National Research University Moscow State of Civil Engineering]. 2013. Pp. 73–77. [In Russian]
9. Samarin O.D. *Voprosy jekonomiki v obespechenii mikroklimata zdaniy* [Problems of economics in maintenance of a building microclimate]. 2nd edition, rev. and exp. Moscow. *Izd-vo ASV* [Publishing House of the Association of Construction Universities]. 2015. 136 p. [In Russian]
10. Makotrina L.V., Seleh E.V. *Jenergoberezenie v central'nyh teplovyh punktah* [Energy saving in central heating stations]. *Vestnik IrGTU* [Messenger of Irkutsk National Research Technical University]. 2012. No. 7. Pp. 120–125. [In Russian]