

УДК 69.001.5

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИЛОГО МНОГОЭТАЖНОГО ДОМА**

**EVALUATION OF EFFICIENCY OF USE
OF PHOTOELECTRIC SYSTEMS
AT OPERATION OF A RESIDENTIAL HOUSE**

В.И. РИМШИН, А.А. ПУДОВА, Л.И. ШУБИН
V.I. RIMSHIN, A.A. PUDOVA, L.I. SHUBIN

**(Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук,
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
ООО "Йозеф Гартнер")
(Research Institute of Construction Physics
of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,
National Research Moscow State University of Civil Engineering,
"Josef Gartner")**

E-mail: v.rimshin@niisf.ru; gemma9401@gmail.com

Построена модель фотоэлектрической системы, размещенной на пространстве крыши жилого комплекса в г. Оренбурге. Рассчитано количество электроэнергии, которую фотоэлектрическая система способна производить ежегодно. Рассчитан срок окупаемости устройства аналогичной фотоэлектрической системы.

A model of a photovoltaic system located on the roof of a residential complex in Orenburg is constructed. The amount of electric energy that the photovoltaic system is able to produce annually is calculated. The payback period of the device of a similar photoelectric system is calculated.

Ключевые слова: солнечная энергетика, фотоэлектрическая система, фотоэлектрический модуль, эксплуатация жилого комплекса.

Keywords: solar power, photovoltaic system, photoelectric module, operation of a residential complex.

Темп энергопотребления неуклонно растет с каждым годом. Вследствие этого продолжается истощение запасов таких традиционных источников энергии, как нефть, газ и уголь. Вместе с этим растут тарифы на электроэнергию. В России этот вопрос стоит особенно остро. В среднем эта статья расходов граждан составляет 11% от их дохода. Помочь в решении данных проблем способна интеграция солнечных технологий в повседневную жизнь людей. Солнечная электроэнергия является экологически чистой, поскольку не нарушает термодинамический баланс окружающей среды, и крайне дешевой. Использование фотоэлектрических систем в жилищно-коммунальном комплексе не только благоприятно повлияет на экологическую ситуацию, но и снизит затраты граждан на электроэнергию.

Фотоэлектрическая система состоит из фотоэлектрических модулей, которые еще называют солнечными панелями и инверторами. От инвертора электроэнергия поступает в сеть потребителям.

В работе была построена модель фотоэлектрической системы, размещенной на пространстве крыши жилого комплекса, расположенного в г. Оренбурге. Выбор этого города не случаен. Оренбург расположен в географическом районе, благоприятном для использования солнечных технологий. Для эффективной работы фотоэлектрических модулей очень важны метеорологические условия и как можно большая инсоляция. В Оренбурге всего 32 пасмурных дня в году, а продолжительность солнечного сияния составляет в среднем 2200 часов в год. Также в Оренбургской области размещены 25% всех российских солнечных электростанций. Нужно отметить, что

использование фотоэлектрических модулей в районах с меньшей инсоляцией возможно, но менее эффективно, к тому же значительно увеличивается срок окупаемости установки оборудования [1...24].

Модель фотоэлектрической системы была спроектирована в программном комплексе PVsyst 6.6.8. Он разработан швейцарской компанией PVsyst (SA) и предназначен именно для работы инженеров и архитекторов. Наиболее часто PVsyst используют в Швейцарии, Испании и Германии. Данная программа позволяет исследовать затенения; дает возможность использовать метеоданные из нескольких баз данных, таких как Meteonorm, NASASSE, WRDS или SolarGIS, на выбор; позволяет расположить фотоэлектрические модули на крыше здания; выбрать оборудование из широкой базы, включающей в себя 1000 моделей фотоэлектрических модулей и 300 моделей инверторов, а также PVsyst включает инструмент, который оптимизирует ориентацию модулей. Недостатком программы являются неудобства, которые возникают при формировании 3D-модели и ее дальнейшего использования, поскольку конструктивный интерфейс программы достаточно примитивный, а импорт чертежей из дополнительных программных комплексов, таких как Autodesk Revit, достаточно затруднен. Несмотря на это, PVsyst является лидирующим программным комплексом такого плана на сегодняшний день.

Расчет оптимального размещения фотоэлектрических модулей на крыше здания должен быть индивидуальным для каждого отдельного жилого комплекса. Это связано с тем, что каждый жилой комплекс имеет собственные архитектурно-конструктив-

ные решения крыши, а также условия инсоляции. Жилой комплекс, для которого проектировалась фотоэлектрическая система, имеет 15 этажей и семь секций. Здание имеет габаритные размеры 105,8×57,4 м. Площадь застройки равна 3015 м², высотная отметка – 51,03 м. Общее количество квартир 472. Площадь общественных помещений жилой части составляет 5366 м². В плане жилой комплекс имеет П-образную форму. Координаты расположения жилого комплекса 51,81°с.ш., 55,15° в.д. Метеоданные, используемые при расчетах, были получены программным комплексом с помощью интерполяций между тремя ближайшими метеостанциями.

В модели фотоэлектрической системы использовались фотоэлектрические модули с монокристаллическими солнечными элементами и мощностью 135 Вт, весом 8 кг, а также инвертор с основными краткими характеристиками 36 кВт, 50/60 Гц, рабочее напряжение 480..850 В, ввод максимального напряжения составляет 110 В, используемая мощность инвертора 108 кВт.

Расчет оптимального размещения фотоэлектрических модулей в программном комплексе PVsyst облегчен и оптимизирован тем, что у пользователя или исследователя есть возможность расположить модули в условиях конкретных архитектурно-конструктивных условий жилого комплекса.

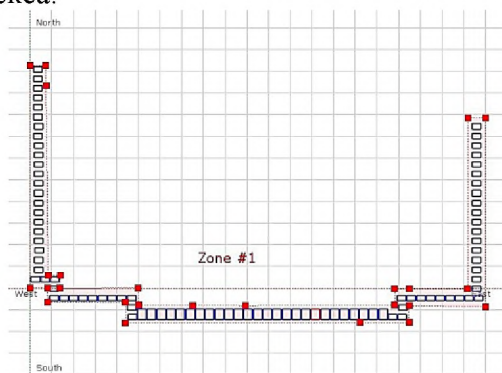


Рис. 1

По плану крыши жилого комплекса нужно определить площадь, которую могут занять столы, на которых расположены фотоэлектрические модули, и указать эту площадь в программе. Достаточно большая площадь крыши позволяет расположить столы по периметру здания. Это сокращает потери от затенения панелей друг другом. Схема расположения фотоэлектрических модулей представлена на рис. 1.

Программа оптимизирует угол наклона столов и фотоэлектрических модулей. Результат оптимизационного расчета показан на рис. 2 (2D-диаграмма оптимизации). По итогу расчета программного комплекса имеем следующие параметры: угол наклона равен 41, азимут 0°, общая площадь 898 м², общее количество столов 93, количество модулей составляет 242, а их рабочая площадь равна 394 м².

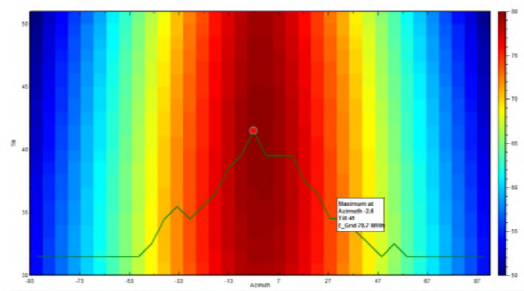


Рис. 2

Согласно расчету количество энергии, которую производит фотоэлектрическая система, равно 78,73 МВт/год. Это значение учитывает то количество энергии, которое попадает на модуль от Солнца в течение года за вычетом всех потерь, включая потери от затенения и облачности, температурные потери, потери на инверторе и потери при транспортировании энергии. В табл. 1 представлено количество энергии, выпускаемой фотоэлектрической системой в сеть, по месяцам и в год.

Таблица 1

Энергия, выпускаемая в сеть, МВт	I	II	III	IV	V	VI	Год
	2,52	4,19	7,20	9,60	10,06	9,47	
	9,48	9,31	7,47	5,10	2,53	1,81	

Поскольку решение об устройстве фотоэлектростанции на крыше многоквартирного дома может быть принято только на общедомовом собрании, а цель установки оборудования – снизить затраты всех жильцов на электроэнергию, целесообразно использовать генерируемую электроэнергию для питания общедомовых нужд. Без доступа к общедомовому счетчику затраты на общедомовые нужды согласно [13] равны произведению общедомовой жилой площади на норматив потребления электроэнергии на общедомовые нужды, который для данного жилого комплекса равен $5,76 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}\cdot\text{мес}}{\text{м}^2}$. Таким образом, в месяц на общедомовые нужды расходуется 30 908,16 кВт·ч, а в год соответственно 370897,92 кВт·ч.

Стоимость фотоэлектрической системы складывается из стоимости оборудования и монтажных работ. Согласно рыночным ценам данная фотоэлектрическая система будет стоить 1784110,00 руб.

Для того чтобы оценить срок окупаемости, были рассчитаны тарифы на электроэнергию на каждое полугодие, с учетом повышения стоимости дневного тарифа на 4,64%, ночного тарифа на 4,46%. Таким образом, в первом полугодии 2019 г. дневной тариф составляет 2 руб. 48 коп., ночной – 1 руб. 56 коп., а к 2026 г. дневной тариф поднимется до 4 руб. 90 коп., а ночной до – 2 руб. 99 коп. В табл. 2 представлен расчет срока окупаемости фотоэлектрической системы.

Таблица 2

Наименование	Итого	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	01.26-05.26
Количество электроэнергии, генерируемой ФЭС, МВт·ч	663,41	78,73	78,73	78,73	78,73	78,73	78,73	78,73	78,73	78,73
Стоимость электроэнергии по дневному тарифу, тыс. руб	1 101,22	91,62	99,67	109,14	119,50	130,85	143,23	156,88	171,78	78,55
Стоимость электроэнергии по ночному тарифу, тыс. руб	682,85	57,48	62,51	68,21	74,43	81,21	88,62	96,70	105,52	48,17
Общая стоимость генерируемой электроэнергии, тыс. руб	1 784,11	149,09	162,18	177,35	193,93	212,07	231,89	253,58	277,29	126,73
Стоимость закупки и установки оборудования, тыс. руб	1 784,11									
Срок окупаемости, год	7,41									

Фотоэлектрическая система ежегодно вырабатывает мегаватты электроэнергии и экономит средства жильцов. За счет этой экономии стоимость установки и монтажа оборудования окупается меньше, чем за 8 лет. В табл. 3 представлены итоги расчета той выгоды, которую фотоэлектрическая станция может приносить жилому комплексу ежегодно.

Устройство фотоэлектрической станции в рассматриваемом жилом комплексе мо-

жет компенсировать 21,22% электроэнергии, которая тратится на общедомовые нужды, и ежегодно экономить жилому комплексу от 149 095 рублей. Вместе с коротким сроком окупаемости можно признать рациональным и эффективным применение солнечных технологий при эксплуатации жилого комплекса. Однако интеграция данных технологий не всегда будет оправдана.

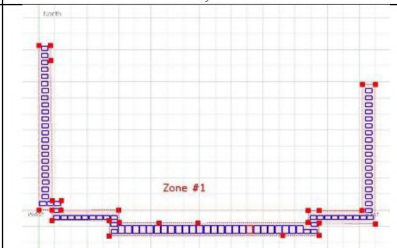
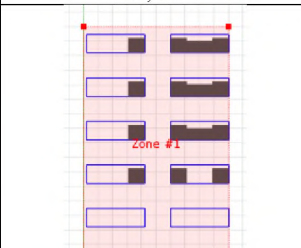
Таблица 3

Наименование	Итого
<i>Электроэнергия от ФЭС</i>	
Количество электроэнергии, генерируемой ФЭС, кВт·ч	78 730,00
Стоимость электроэнергии по дневному тарифу, руб	91 616,55
Стоимость электроэнергии по ночному тарифу, руб	57 478,90
Общая стоимость генерируемой электроэнергии, руб	149 095,45
<i>Общие затраты электроэнергии на ОДН</i>	
Затраты электроэнергии на ОДН, кВт·ч	370 897,92
Стоимость электроэнергии по дневному тарифу, руб	431 787,00
Стоимость электроэнергии по ночному тарифу, руб	270 910,02
Общие затраты на электроэнергию по ОДН, руб	702 697,02
<i>Затраты электроэнергии за вычетом электроэнергии от ФЭС</i>	
Следует закупить электроэнергии, кВт·ч	292 167,92
Стоимость электроэнергии по дневному тарифу, руб	340 170,45
Стоимость электроэнергии по ночному тарифу, руб	213 431,12
Общие затраты на электроэнергию по ОДН, руб	553 601,57
Итого: выгода, руб	149 095,45
Итого: выгода, %	21,22

Если площадь пространства крыши небольшая или район проектирования фотоэлектрической системы недостаточно инсолируется, срок окупаемости системы возрастает, а эффективность ее работы значительно падает.

В качестве оценки практической значимости исследования аналогичная фотоэлектрическая система была рассчитана для жилого дома с меньшей площадью крыши. Сравнительный анализ представлен в табл. 4.

Таблица 4

№	Параметр	Жилой комплекс	Жилой дом
1	Площадь крыши, м ²	3015	440
2	Площадь общедомовых помещений, м ²	5366	2429
3	Количество квартир	472	156
4	Затраты на ОДН в месяц, кВт·ч	30 908,16	19 751,04
5	Затраты на ОДН в год, кВт·ч	370 897,92	237 012,48
6	Мощность ФЭС в год, МВт	78,73	14,066
7	Затраты на оборудование, руб	1 732 600,00	592 600,00
8	Срок окупаемости, год	7,41	13
9	Выгода в год, руб	149 095,45	26 642,12
10	Выгода в год, %	21,22	5,93
11	Схема расположения модулей		

ВЫВОДЫ

В процессе исследований выявлено, что в данном случае устройство фотоэлектрической системы для жилого комплекса значительно эффективнее и рациональнее, чем для жилого дома. Это не связано с метеорологическими факторами, так как оба здания расположены в одной зоне – в Оренбург-

ской области. Низкая эффективность второго проекта обусловлена небольшой рабочей площадью фотоэлектрических модулей и схемой расположения столов с модулями. Расположение модулей рядами, а не по периметру здания, способствует затенению модулей друг другом и снижает продуктивность работы.

Подводя итоги, нужно подчеркнуть, что использование солнечных технологий в жилищно-коммунальном комплексе – это перспективная отрасль развития энергетики, однако проектирование таких систем требует индивидуального подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. AA.VV. Photovoltaics, Technology-Architecture-Installation. – Edition Detail.

2. Богатова Т.В., Бондарчук Я.С. Анализ зарубежного опыта архитектурно-типологического формирования домов с солнечными панелями // Высокие технологии. Экология. Научный Вестник. – Воронеж: Изд-во Воронежск. гос. архит.-строит. ун-та, 2014, №1. С. 143...147.

3. CLC/TC 82. Solar Photovoltaic Energy Systems.

4. EN ISO 12543-1 to 6. Glass in Building. Laminated Glass and Laminated Safety Glass.

5. IEC 61215. Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules. Design Qualification and Type Approval.

6. Дьякова Ю.К., Тебеньков А.А. Использование программных комплексов PVsyst 6 и Autodesk Revit для проектирования фотоэлектрических систем. – СПб.: Санкт-Петербург. политехн. ун-т Петра Великого, 2015. С. 277...280.

7. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. – Изд. 2-е, доп. – СПб.: Наука, 2013.

8. Киричук Ю.Б., Ким А.А. Солнечные панели и батареи в архитектуре // Мат. Междунар. научн. конф.: Новые идеи нового века. – 2017: Изд. Тихоокеанского гос. ун-та. Т. 2. С. 123...129.

9. Козлов А.В., Ковалевский К.В., Юрченко А.В. Результаты натуральных испытаний кремниевой солнечной батареи в натуральных условиях г. Томска // Мат. Междунар. конф.: Возобновляемая энергетика. Состояние, проблемы, перспективы. – СПб., 2016. С. 275...281.

10. Продолжительность солнечного сияния [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://geographyofrussia.com/prodolzhitelnost-solnechnogo-siyaniya/>, свободный. – Загл. с экрана

11. Саврасов Ф.В., Ковалев И.К. Исследование эффективности работы солнечной батареи в полевых условиях // Изв. Томского политехн. ун-та. – 2012. Т. 321, №4.

12. Спиридонов А.В., Шубин И.Л., Римшин В.И., Семин С.А. Различия в нормативных требованиях к солнцезащитным устройствам в России и ЕС // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2015, №5-6. С. 24...29.

13. Троицкий А.О., Серадская О.В., Соломин Е.В. Устройство ликвидации и загрязнения солнечных модулей на основе механической тяги пленки // Мат. Междунар. научн.-техн. конф. студентов, аспирантов, ученых: Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере. – 2016. Т.4, №1. С. 284...287.

14. Фронтини Ф., Фризен Т. Фотоэлектрические модули, интегрированные в ограждающие конструкции зданий // Здания высокие технологий. – Изд-во "АВОК-ПРЕСС", 2015, №1. С. 86...91.

15. Юрченко А.В. Результаты натуральных испытаний кремниевой солнечной батареи в климатических условиях г. Томска // Изв. Междунар. акад. наук высшей школы. – 2014, №2(28). С. 145...150.

16. Shubin I.L., Zaitsev Y.V., Rimshin V.I., Kurbatov V.L., Sulygova P.S. Fracture of high performance materials under multiaxial compression and thermal effect // Engineering Solid Mechanics. – 5(2), 2017. P. 139...144.

17. Telichenko V.I., Rimshin V.I., Karelskii A.V., Labudin B.V., Kurbatov V.L. Strengthening technology of timber trusses by patch plates with toothed-plate connectors // Journal of Industrial Pollution Control. – 33(1), 2017. P. 1034...1041.

18. Kuzina E., Rimshin V. Deformation Monitoring of Road Transport Structures and Facilities Using Engineering and Geodetic Techniques // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018, 692. P. 410...416.

19. Krishan A.L., Troshkina E.A., Rimshin V.I., Rahmanov V.A., Kurbatov V.L. Load-bearing capacity of short concrete-filled steel tube columns of circular cross section // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 7(3), 2016. P. 2518...2529.

20. Korotaev S.A., Kalashnikov V.I., Rimshin V.I., Erofeeva I.V., Kurbatov V.L. The impact of mineral Aggregates on the thermal conductivity of cement composites // Ecology, Environment and Conservation. – 22(3), 2016. P. 1159...1164.

21. Bazhenov Y.M., Erofeev V.T., Rimshin V.I., Markov S.V., Kurbatov V.L. Changes in the topology of a concrete porous space in interactions with the external medium // Engineering Solid Mechanics. – 4(4), 2016. P. 219...225.

22. Erofeev V.T., Zavalishin E.V., Rimshin V.I., Kurbatov V.L., Stepanovich M.B. Frame composites based on soluble glass // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 7(3), 2016. P. 2506...2517.

23. Erofeev V., Kalashnikov V., Karpushin S., Tretiakov I., Matvievskiy A. Physical and mechanical properties of the cement stone based on biocidal Portland cement with active mineral additive // Solid State Phenomena. – 871, 2016. P. 28...32.

24. Rimshin V.I., Larionov E.A., Erofeev V.T., Kurbatov V.L. Vibrocreep of concrete with a nonuniform stress state // Life Science Journal. – 11(11), 2014. P. 278...280.

REFERENCES

1. AA.VV. Photovoltaics, Technology-Architecture-Installation. – Edition Detail.

2. Bogatova T.V., Bondarchuk Ya.S. Analiz zarubezhnogo opyta arhitekturno-tipologicheskogo formirovaniya domov s solnechnymi panyami // Vysokie tehnologii. Ekologiya. Nauchnyj Vestnik. – Voronezh:

- Izd-vo Voronezhsk. gos. arhit.-stroit. un-ta, 2014, №1. S.143...147.
3. CLC/TC 82. Solar Photovoltaic Energy Systems.
 4. EN ISO 12543-1 to 6. Glass in Building. Laminated Glass and Laminated Safety Glass.
 5. IEC 61215. Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules. Design Qualification and Type Approval.
 6. Dyakova Yu.K., Tebenkov A.A. Ispolzovanie programmnykh kompleksov PVsyst 6 i Autodesk Revit dlya proektirovaniya fotoelektricheskikh sistem. – SPb.: Sankt-Peterburg. politehn. un-t Petra Velikogo, 2015. S.277...280.
 7. Elistratov V.V. Vozobnovlyaemaya energetika. – Izd. 2-e, dop. – SPb.: Nauka, 2013.
 8. Kirichuk Yu.B., Kim A.A. Solnechnye paneli i batarei v arhitekture // Mat. Mezhdunar. nauchn. konf.: Novye idei novogo veka. – 2017: Izd. Tihookeanskogo gos. un-ta. T. 2. S.123...129.
 9. Kozlov A.V., Kovalevskij K.V., Yurchenko A.V. Rezultaty naturnykh ispytaniy kremnievoj solnechnoj batarei v naturnykh usloviyah g. Tomsk // Mat. Mezhdunar. konf.: Vozobnovlyaemaya energetika. Sostoyanie, problemy, perspektivy. – SPb., 2016. S. 275...281.
 10. Prodolzhitel'nost solnechnogo siyaniya [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://geogra-physci.com/prodolzhitel'nost-solnechnogo-siya-niya/>, svobodnyj. – Zagl. s ekrana
 11. Savrasov F.V., Kovalev I.K. Issledovanie effektivnosti raboty solnechnoj batarei v polevykh usloviyah // Izv. Tomskogo politehn. un-ta. – 2012. T. 321, №4.
 12. Spiridonov A.V., Shubin I.L., Rimshin V.I., Semin S.A. Razlichie v normativnykh trebovaniyah k solnezashitnym ustrojstvam v Rossii i ES // Stroitelnye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka. – 2015, №5-6. S. 24...29.
 13. Troickij A.O., Seradskaya O.V., Solomin E.V. Ustrojstvo likvidacii i zagryazneniya solnechnykh modulej na osnove mehanicheskoy tyagi plenki // Mat. Mezhdunar. nauchn.-tehn. konf. studentov, aspirantov, uchenykh: Energo- i resursosberezhenie v teploenergetike i socialnoj sfere. – 2016. T.4, №1. S. 284...287.
 14. Frontini F., Frizen T. Fotoelektricheskie moduli, integrirovannye v ograzhdayushie konstrukcii zdaniy // Zdaniya vysokih tehnologij. – Izd-vo "AVOK-PRESS", 2015, №1. S.86...91.
 15. Yurchenko A.V. Rezultaty naturnykh ispytaniy kremnievoj solnechnoj batarei v klimaticheskikh usloviyah g. Tomsk // Izv. Mezhdunar. akad. nauk vysshej shkoly. – 2014, №2(28). S. 145...150.
 16. Shubin I.L., Zaitsev Y.V., Rimshin V.I., Kurbatov V.L., Sulygova P.S. Fracture of high performance materials under multiaxial compression and thermal effect // Engineering Solid Mechanics. – 5(2), 2017. P.139...144.
 17. Telichenko V.I., Rimshin V.I., Karelskii A.V., Labudin B.V., Kurbatov V.L. Strengthening technology of timber trusses by patch plates with toothed-plate connectors // Journal of Industrial Pollution Control. – 33(1), 2017. P. 1034...1041.
 18. Kuzina E., Rimshin V. Deformation Monitoring of Road Transport Structures and Facilities Using Engineering and Geodetic Techniques // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018, 692. P.410...416.
 19. Krishan A.L., Troshkina E.A., Rimshin V.I., Rahmanov V.A., Kurbatov V.L. Load-bearing capacity of short concrete-filled steel tube columns of circular cross section // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 7(3), 2016. P.2518...2529.
 20. Korotaev S.A., Kalashnikov V.I., Rimshin V.I., Erofeeva I.V., Kurbatov V.L. The impact of mineral Aggregates on the thermal conductivity of cement composites // Ecology, Environment and Conservation. – 22(3), 2016. P. 1159...1164.
 21. Bazhenov Y.M., Erofeev V.T., Rimshin V.I., Markov S.V., Kurbatov V.L. Changes in the topology of a concrete porous space in interactions with the external medium // Engineering Solid Mechanics. – 4(4), 2016. P. 219...225.
 22. Erofeev V.T., Zavalishin E.V., Rimshin V.I., Kurbatov V.L., Stepanovich M.B. Frame composites based on soluble glass // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 7(3), 2016. P. 2506...2517.
 23. Erofeev V., Kalashnikov V., Karpushin S., Tretiakov I., Matvievskiy A. Physical and mechanical properties of the cement stone based on biocidal Portland cement with active mineral additive // Solid State Phenomena. – 871, 2016. P. 28...32.
 24. Rimshin V.I., Larionov E.A., Erofeev V.T., Kurbatov V.L. Vibrocreep of concrete with a non-uniform stress state // Life Science Journal. – 11(11), 2014. P. 278...280.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ
РААСН. Поступила 18.06.18.