

Развитие системы энергоснабжения студгородка МЭИ на основе концепции «зелёного» строительства

Рецензия эксперта на статью получена 12.01.2018 [Expert review on the article was received on January 12, 2018].

Строительство энергоэффективных зданий и сооружений с минимальным потреблением энергии в России должно быть одним из приоритетных направлений при решении задач энергосбережения. При этом предлагаемые технические решения для таких зданий должны учитывать специфические особенности северной, средней и южной климатических зон нашей страны.

Решение задач оптимизации на основе математической модели позволяет определить оптимальные схемные решения и параметры системы энергоснабжения здания, при которых будет достигнута необходимая мощность рассматриваемого объекта. При этом появляется возможность проводить такую оптимизацию с учётом использования возобновляемых источников энергии.

В соответствии с Федеральным законом от 23 ноября 2009 года №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», начиная с 1 января 2010 года государственные (муниципальные) учреждения должны обеспечить снижение в сопоставимых условиях потребления воды, дизельного и иного топлива, природного газа, тепловой и электрической энергии, угля в течение пяти лет не менее чем на 15 % от объёма фактически потреблённого ими в 2009 году каждого из указанных ресурсов с ежегодным снижением такого объёма не менее чем на 3 %.

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» является одним из крупнейших технических университетов России. Инфраструктура МЭИ состоит из девяти учебных корпусов, которые содержат сотни учебных и научных лабораторий, учеб-

но-экспериментальной ТЭЦ, пяти зданий студенческого общежития, опытно-производственного завода, профилактория, дома культуры, здания столовой, спортивного комплекса «Энергия», бассейна.

Основной энергетический университет в России — Национальный исследовательский университет «МЭИ» — осознаёт свою ответственность перед студентами и перед обществом представлять собой пример передовой, наиболее эффективной организации в области энергосбережения, внедряющей и развивающей энергосберегающие технологии. Несмотря на то, что в МЭИ регулярно проходят энергетические обследования (рис. 1) [1, 2] и были реализованы многие меры по повышению энергоэффективности, теплозащитные характеристики всех зданий кампуса находятся довольно далеко от характеристик «пассивного дома» или зданий с нулевым потреблением энергии.

Коллектив авторов разработал и предложил стратегию развития системы энергоснабжения зданий МЭИ на основе применения технологий «зелёного» строительства. В последние годы аналогичные проекты реализуются в Европе. Например, учебно-административное здание Венского технического университета [3, 4], прошедшее реконструкцию в 2015 году, является первым высотным зданием в Европе, которое производит больше энергии, чем потребляет. Это здание функционирует как общественное здание, которое ежедневно посещают около 800 сотрудников и до 1800 студентов. В октябре 2015 года университету, в чьей собственности находится здание, была присуждена австрийская Государственная премия за выдающиеся достижения в области технологий охраны окружающей среды и энергоэффективности (категория «Научные исследования и инновации»).

УДК 628.8:697.1

Стратегия развития системы энергоснабжения студгородка МЭИ на основе концепции «зелёного» строительства

И. А. Султангузин, д.т.н., профессор; **Ю. В. Яворовский**, к.т.н., заведующий кафедрой; **Е. В. Жигулина**, к.т.н., доцент; **И. Д. Калякин**, студент; **А. В. Говорин**, аспирант, кафедра промышленных теплоэнергетических систем (ПТЭС) НИУ «МЭИ»; **А. А. Кролин**, к.т.н., начальник отдела; **С. В. Гужов**, к.т.н., заместитель начальника отдела, отдел энергоменеджмента НИУ «МЭИ»

В статье представлена стратегия развития системы энергоснабжения зданий Национального исследовательского университета «МЭИ» (НИУ «МЭИ») на основе концепции «зелёного» строительства. Представлены результаты разработки математической модели одного из учебных корпусов МЭИ (корпуса М), связанного с научно-технической библиотекой университета. Математическая модель была создана с помощью программы designPH и программного обеспечения для проектирования «пассивного здания» PHPP. Представлены результаты расчёта системы энергоснабжения здания с низким потреблением энергии.

Ключевые слова: «зелёное» строительство, «пассивный дом», дом с нулевым потреблением энергии, потребление энергии.

UDC 628.8:697.1

Development strategy of the energy supply system for MPEI campus blocks based on green building

I. A. Sultanguzin, Doctor of Engineering Sciences, Professor; **Yu. V. Yavorovsky**, PhD, Head of the Department; **E. V. Zhigulina**, PhD, Associated Professor; **I. D. Kalyakin**, student; **A. V. Govorin**, graduate student, the Department of Industrial Thermal Engineering Systems, National Research University (NRU) "MPEI"; **A. A. Krolin**, PhD, Head of the Department; **S. V. Guzhov**, PhD, Assistant of Head of the Department, Energy Management Department, NRU "MPEI"

The article presents the development strategy of the energy supply system for National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (MPEI) buildings based on green building concept. The designing mathematical model of one of MPEI academic buildings connected with the Scientific and technical library of the University has been created in Passive House Planning Package (PHPP) and designPH software. The parameters of the building energy supply system with the lowest energy consumption are presented.

Keywords: green building, passive house, zero energy building, energy consumption.



Рис. 1. Визуализация распределения и потребления энергии в МЗИ

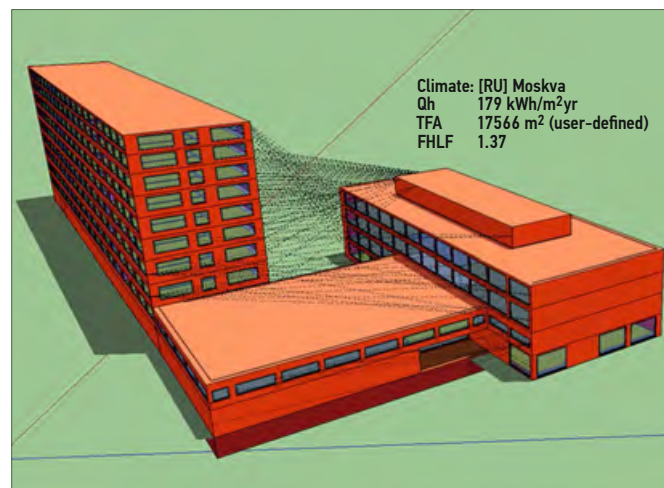


Рис. 2. Здания корпуса М и научно-технической библиотеки МЗИ

Есть также подобные примеры среди многоэтажных жилых домов, таких как Aktiv-Stadthaus («Энергоактивный таунхаус») во Франкфурте-на-Майне, построенный в 2015 году и имеющий общую площадь 10714 м² [5].

В рамках проведённой работы были сформулированы основные этапы стратегии развития системы энергоснабжения студгородка МЗИ. Первый этап включает реконструкцию корпусов Е, М и научно-технической библиотеки (НТБ) МЗИ на основе концепции проектирования «зелёного пассивного здания» (PHPP). Этот этап включает решение задач:

1. Определение существующего энергопотребления корпусов Е, М и НТБ по результатам энергоаудита и построение их математических моделей с использованием программного обеспечения для трёхмерного моделирования designPH и PHPP.
2. Разработка и реализация программы утепления зданий на основе применения современных и перспективных строительных материалов и технологий (тепловая защита наружных стен, применение энергосберегающих окон и дверей, утепление крыши и технического этажа, утепление подвалов, применение PCM-материалов с фазовым переходом).
3. Развитие системы энергоснабжения зданий на основе применения современных и перспективных энергосберегающих технологий в системах отопления, горячего водоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, освещения, электроснабжения, а также систем автоматизации отдельных подсистем, систем мониторинга и комплексного управления всей системой энергоснабжения.
4. Реализация стратегии внедрения «зелёных» технологий посредством использования возобновляемых источников энергии с применением солнечных коллекторов, солнечных панелей, включающих

комбинированное производство электрической и тепловой энергии на основе технологий BIPV и BIPVT (Building Integrated PhotoVoltaic Thermal), встраивания в крышу и фасад здания солнечных батарей-коллекторов. Рассматриваются и системы с тригенерацией электроэнергии, тепла и холода с использованием PVT-технологии и абсорбционных холодильных машин для обеспечения систем кондиционирования воздуха в летний период, ветроэнергетические установки, инверторы и электроаккумуляторы, системы суточного, недельного и сезонного аккумулирования тепловой энергии.

5. Экономическая оценка реализации проектов «зелёного» строительства.
6. Анализ и выбор энергосберегающих проектов при минимальном финансировании.
7. Анализ и отбор проектов «зелёного» строительства с полным необходимым финансированием до уровня энергопотребления, близкого к нулевому.

Второй этап включает реконструкцию других зданий студгородка МЗИ на основе реализации стратегии «зелёного» строительства: учебных и административных корпусов; жилых зданий и общежитий; учреждений культуры и медицины, зданий общепита и магазинов.

Решение задач оптимизации на основе математической модели позволяет определить оптимальные схемные решения и параметры системы энергоснабжения здания, при которых будет достигнута необходимая мощность рассматриваемого объекта. При этом появляется возможность проводить такую оптимизацию с учётом использования ВИЭ

В настоящее время реализуется первый этап рассмотренной стратегии. В результате его выполнения на основе результатов энергетических обследований [1, 2] была построена математическая модель корпуса М и научно-технической библиотеки МЗИ (НТБ МЗИ) с помощью программы для трёхмерного моделирования designPH и программного обеспечения для проектирования пассивного здания PHPP [6, 7]. Модель корпуса М и НТБ МЗИ представлена на рис. 2.

Результаты моделирования зданий в существующем состоянии (до реконструкции) приведены в табл. 1.

Энергоаудит показал, что здания корпуса М и НТБ МЗИ имеют значительные тепловые потери. Были проведены тепловизионные обследования этих зданий (рис. 3), выявившие температурные дефекты ограждающих конструкций (стен и окон). Таким образом, в первоочередном порядке необходимо устранить найденные дефекты, увеличить толщину теплоизоляции стен и заменить ряд окон на энергосберегающие.

Кроме того, энергетический аудит показал, что в период с декабря 2016 года по январь 2017-го, когда температура наружного воздуха изменялась в пределах +1,5...–26°C, внутренняя температура в здании корпуса М находилась в пределах 22,5–25,2°C. При этом температура в помещении существенно превышала нормативные значения (20–22°C). Это показывает, что внедрение системы автоматического регулирования тепловой нагрузки системы отопления позволит получить энергосберегающий эффект.

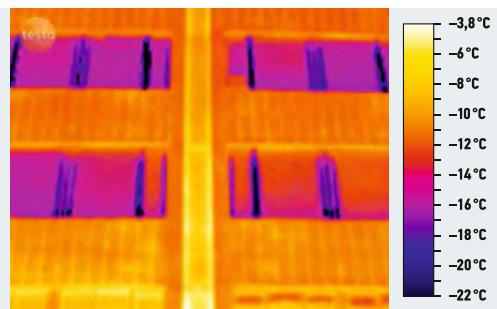
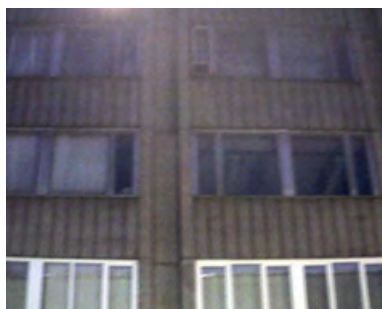
Система вентиляции зданий корпуса М и НТБ МЗИ в настоящее время эксплуатируется без рекуперации теплоты и влаги из вытяжного воздуха. Применение вентиляционных блоков с рекуперацией 80–90% теплоты и 50–80% влаги

позволяет снизить тепловые потери с вытяжным воздухом. По рекомендации немецкого Института пассивного дома [8] ограждающие конструкции здания должны быть очень герметичными, показатель $n_{50} \leq 0,6 \text{ ч}^{-1}$ является обязательным, а $n_{50} < 0,3 \text{ ч}^{-1}$ рекомендуется.

Кроме того, для снижения эксплуатационных расходов системы вентиляции в зданиях университета должны работать периодически, а также быть способными регулировать расходы воздуха в каждое помещение по содержанию углекислого газа во внутреннем воздухе, то есть в зависимости от количества людей, находящихся в помещении. При решении задачи кондиционирования воздуха в летнее время необходимо также выбирать энергоэффективные схемные решения и оборудование. Возможно применение различных схем, в том числе с применением теплового насосов.

Как показали результаты моделирования, реализация рассмотренной стратегии энергосбережения и реконструкции зданий корпуса М и НТБ МЭИ позволяют снизить удельный расход энергии на отопление с 179 до 25 кВт·ч/(м²·год).

Результаты моделирования характеристик энергопотребления зданий после реконструкции приведены в табл. 1.



• • Рис. 3. Тепловизионный снимок стены здания корпуса М

Здания корпуса М и НТБ МЭИ расположены вдоль Красноказарменной улицы, которая образует с южной стороны от них большое свободное пространство. Такое расположение зданий исключает затенение их южных фасадов и крыш соседними зданиями практически в течение всего дня. Поэтому выработка энергии в случае установки интегрированных в вентилируемые фасады фотоэлектрических панелей, а также панелей комбинированной выработки электрической и тепловой энергии BIPVT [9–11] на крышах зданий корпуса М и НТБ МЭИ будет происходить с максимально возможной эффективностью и максимально длительное время.

Расчёты, проведённые с использованием программного обеспечения РНРР [6, 8] показали, что в случае реконструкции зданий корпуса М и НТБ МЭИ можно получить в них почти нулевой

энергетический баланс при использовании технологий BIPV и BIPVT, аналогично проектам энергосберегающих высотных зданий, построенных в Австрии и Германии [3–5].

Все остальные здания студенческого городка МЭИ могут быть также реконструированы, используя решения, аналогичные предложенным в зданиях корпуса М и НТБ МЭИ, а их потребление энергии приближено к почти нулевому.

Заключение

В настоящей работе предложена стратегия развития системы энергоснабжения студгородка МЭИ на основе концепции «зелёного» строительства. Реализация данной стратегии рассматривается на примере математического моделирования и дальнейшей реконструкции зданий корпуса М и научно-технической библиотеки МЭИ. Данные исследования проводятся совместно с партнёрами NESEFF и будут продолжены в будущем. •

• • Результаты моделирования характеристик зданий до / после реконструкции

табл. 1

Годовое потребление тепла						
Общие тепловые потери, кВт·ч/год	Общие теплопоступления, кВт·ч/год	Обогр. площадь помещений, м²	Годовая тепловая нагрузка, кВт·ч/год	Уд. годовая тепловая нагрузка Q_{H1} , кВт·ч/(м²·год)		
3 663 513 / 954 295	527 381 / 533 306	17 566 / 17 566	3 136 160 / 434 216	178,5 / 24,72		
Тепловые потери						
Общая площадь теплопотерь, м²	Козэф. теплопроводности, Вт/(м²·К)	Градусо-часы отопит. периода, тыс. К·ч	Тепловые потери, кВт·ч/год	Удельные теплопотери через огражд. констр. Q_t , кВт·ч/(м²·год)		
24 112 / 24 112	1,34 / 0,27	116,0 / 116,0	3 431 521 / 722 302	195,4 / 41,12		
Вентиляционные теплопотери						
Обогреваемая площадь, м²	Объём помещений, м³	Эфф. кратность воздухообмена	Градусо-часы отопит. периода, тыс. К·ч	Теплопотери с вентиляцией, кВт·ч/год	Удельные теплопотери вентиляции Q_v , кВт·ч/(м²·год)	
17 566 / 17 566	43 916 / 43 916	0,14 / 0,14	116,0 / 116,0	231 993 / 231 993	13,21 / 13,21	
Солнечные теплопоступления (по номерам поверхности)						
№	Площадь окон, м²	Площадь остекления, м²	Козэф. пропускания солнечной энергии, g	Излучение G_s	Солнечные теплопоступления, кВт·ч/год	Уд. теплопоступления Q_s , кВт·ч/(м²·год)
1*	219,1 / 219,1	176,1 / 179,6	0,5 / 0,5	148,2 / 148,2	7898 / 8056	0,45 / 0,45
2*	2108,0 / 2108,0	1734,1 / 1764,9	0,5 / 0,5	322,2 / 322,2	169 188 / 172 195	9,63 / 9,63
3*	338,8 / 338,8	277,2 / 282,3	0,5 / 0,5	448,6 / 448,6	37 660 / 38 348	2,14 / 2,14
4*	2116,0 / 2116,0	1737,7 / 1768,9	0,5 / 0,5	219,3 / 219,3	115 380 / 117 452	6,57 / 6,57
	4781,9 / 4781,9	3925,1 / 3925,0			330 126 / 336 050	18,79 / 19,13
Внутренние теплопоступления						
Обогреваемая площадь, м²	Козэф. внутренних теплопоступлений, Вт/м²	Продолжит. отопит. периода, дней/год	Отопит. период, ч/год	Внутренние теплопоступления, кВт·ч/год	Уд. внутренние теплопоступления Q_{i1} , кВт·ч/(м²·год)	
17 566 / 17 566	2,1 / 2,1	222,8 / 222,8	5350 / 5350	197 255 / 197 255	11,23 / 11,23	

* Примечания: 1 — северные окна; 2 — восточные окна; 3 — южные окна; 4 — западные окна.

1. Кролин А.А., Гужов С.В. МЭИ — современная площадка для продвижения энергосберегающих технологий // Региональная энергетика и энергоэффективность, 2015. Спецвып. С. 4–5.
2. Драгунов В.К., Кролин А.А., Гужов С.В. и др. Мониторинг энергопотребления и внедрения энергосберегающих мероприятий в вузе // Научно-методические проблемы и новые технологии образования, 2014. №6. С. 32–38.
3. Prize-winning energy-plus building in Vienna Technical University. Sauter Facts. 2015. No. 33. Pp. 22–23.
4. Бисмарк М. Реконструкция Венского технического университета // Здания высоких технологий, 2016. №4. С. 18–21.
5. Елохов А.Е. Пример реализации в Германии многоквартирного жилого здания с положительным энергетическим балансом // «ЕвроСтройПрофи», 2016. Темат. вып. «Энергоэффективность. Энергосбережение. Экология». С. 28–33.
6. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов. — М.: Континпринт, 2015. 144 с.
7. Sultangazin I., Kalyakin I., Govorin A., Khristenko B., Yavorovsky Yu. Optimization of the energy efficient active house. Ingenieurtag 2016. Der Fakultät Maschinenbau, Electro- und Energiesysteme Gus- und Osteuropatag. Neseff-Netzwerktreffen 2016. Tagungsband. Brandenburgische Tech. Univer. Cottbus-Senftenberg. 2016. Pp. 8–12.
8. Passive House schools. Req. Web-source: passpedia.org.
9. Debbarma M., Sudhakar K., Baredar P. Thermal modeling, exergy analysis, performance of BIPV and BIPVT: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 73. Pp. 1276–1288.
10. Biyik E., Araz M., Hepbasli A. et. al. A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems. Engineering Science and Technology. 2017. Vol. 20. Pp. 833–858.
11. Lamnatou Ch., Mondol J.D., Chemisana D., Maurer C. Modelling and simulation of Building-Integrated solar thermal systems: Behavior of the system. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 45. Pp. 36–51.

References — see page 109.

Development strategy of the energy supply system for MPEI campus blocks based on green building. Pp. 106–108.

I. A. Sultanguzin, Doctor of Engineering Sciences, Professor; **Yu. V. Yavorovsky**, PhD, Head of the Department; **E. V. Zhigulina**, PhD, Associated Professor; **I. D. Kalyakin**, student; **A. V. Govorin**, graduate student, the Department of Industrial Thermal Engineering Systems, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **A. A. Krolin**, PhD, Head of the Department; **S. V. Guzhov**, PhD, Assistant of Head of the Department, Energy Management Department, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI")

1. Krolin A.A., Guzhov S.V. *MEI — sovremennaya ploshchadka dlya prodvizheniya energosberegayushchikh tekhnologiy* [MPEI — the modern platform for development of energy saving technologies]. *Regional'naya energetika i energoeffektivnost'* [Regional power engineering and energy efficiency]. 2015. Spec. issue. Pp. 4–5.
2. Dragunov V.K., Krolin A.A., Guzhov S.V. et al. *Monitoring energopotrebleniya i vnedreniy energosberegayushchikh meropriyatiy v vuze s ispol'zovaniem informatsionnoy sistemy* [Monitoring of energy consumption and implementation of energy saving actions in the University with using of information system]. *Nauchno-metodicheskie problemy i novye tekhnologii obrazovaniya* [Scientific and methodical problems and new technologies of education]. 2014. No. 6. Pp. 32–38.
3. *Prize-winning energy-plus building in Vienna Technical University*. Sauter Facts. 2015. No. 33. Pp. 22–23.
4. Bismark M. *Rekonstruktsiya Venskogo tekhnicheskogo universiteta* [Reconstruction of Vienna Technical University]. *Zdaniya vysokikh tekhnologiy* [Buildings of high technologies]. 2016. No. 4. Pp. 18–21.
5. Elokhov A.E. *Primer realizatsii v Germanii mnogokvartirnogo zhilogo zdaniya s polozhitel'nym energeticheskim balansom* [Example of realization of positive energy balance residential building in Germany]. *EvroStroyProfi* [Journal of building materials and technologies]. 2016. *Tematicheskiy vypusk "Energoeffektivnost'. Energoberezhenie. Ekologiya"* [Thematic release "Energy efficiency. Energy saving. Ecology"]. Pp. 28–33.
6. Feist V. *Osnovnye polozheniya po proektirovaniyu passivnykh domov* [Basic provisions on design of passive houses]. Moscow. OOO "Kontiprint" [JSC "Kontiprint"]. 2015. 144 p.
7. Sultanguzin I., Kalyakin I., Govorin A., Khristenko B., Yavorovsky Yu. *Optimization of the energy efficient active house*. Ingenieurtag 2016. Der Fakultat Maschinenbau, Electro- und Energiesysteme Gus- und Osteuropatag. Neseff-Netzwerktreffen 2016. Tagungsband. *Brandenburgische Technische Universität. Cottbus-Senftenberg*. 2016. Pp. 8–12.
8. *Passive House schools. Requirements*. Web-source: passipedia.org.
9. Debbarma M., Sudhakar K., Baredar P. *Thermal modeling, exergy analysis, performance of BIPV and BIPVT: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 73. Pp. 1276–1288.
10. Biyik E., Araz M., Hepbasli A. et. al. *A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems*. *Engineering Science and Technology*. 2017. Vol. 20. Pp. 833–858.
11. Lamnatou Ch., Mondol J.D., Chemisana D., Maurer C. *Modelling and simulation of Building-Integrated solar thermal systems: Behavior of the system*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 45. Pp. 36–51.