

Научная статья
УДК 621.311.25
doi: 10.34822/1999-7604-2022-2-55-60

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ В НЕЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

Геннадий Викторович Иванов¹, Леонид Вячеславович Владимиров^{2✉},
Евгений Юрьевич Кислицин³

^{1, 2, 3}Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

¹ivanov_gv@surgu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8640-9605>

²vladimirov_lv@surgu.ru✉, <http://orcid.org/0000-0001-6026-3679>

³kislitsin_eu@surgu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9747-3917>

Аннотация. Рассмотрен вариант внедрения в систему электроснабжения общеобразовательного учреждения, расположенного на территории города Сургута Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, возобновляемого источника энергии – солнечной электростанции, что позволяет выполнить требования ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, система электроснабжения общественных зданий, распределительное устройство

Для цитирования: Иванов Г. В., Владимиров Л. В., Кислицин Е. Ю. Проектирование системы электроснабжения общественных зданий с интегрированными в нее возобновляемыми источниками энергии // Вестник кибернетики. 2022. № 2 (46). С. 55–60. DOI 10.34822/1999-7604-2022-2-55-60.

Original article

DESIGNING A POWER SUPPLY SYSTEM FOR PUBLIC BUILDINGS WITH INTEGRATED RENEWABLE ENERGY SOURCES

Gennadiy V. Ivanov¹, Leonid V. Vladimirov^{2✉}, Evgeniy Yu. Kislitsin³

^{1, 2, 3}Surgut State University, Surgut, Russia

¹ivanov_gv@surgu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8640-9605>

²vladimirov_lv@surgu.ru✉, <http://orcid.org/0000-0001-6026-3679>

³kislitsin_eu@surgu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9747-3917>

Abstract. The article discusses an option of introducing a renewable energy sources (solar power station) into the power supply system of a general education institution located in Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Ugra. This resulting in fulfillment of requirements of the Federal Law “On Energy Saving, Improving Energy Efficiency, and Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation” No. 261-FZ of 23.11.2009.

Keywords: renewable energy sources, power supply system for public buildings, switchgear

For citation: Ivanov G. V., Vladimirov L. V., Kislitsin E. Yu. Designing a Power Supply System for Public Buildings with Integrated Renewable Energy Sources // Proceedings in Cybernetics. 2022. No. 2 (46). P. 55–60. DOI 10.34822/1999-7604-2022-2-55-60.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день вопросы рационального использования энергетических ресурсов являются одними из наиболее актуальных и

важных. Постоянный рост тарифов на электрическую энергию и другие виды энергоресурсов приводит к осознанию необходимости выполнения энергосберегающих меро-

приятый, и это закреплено на законодательном уровне [1]. За последние 10–12 лет практически полностью изменился подход к построению осветительных электроустановок, внедряются энергоэффективные источники света, что позволяет снизить потребление электрической энергии.

Требования к системам электроснабжения и электроустановкам общественных зданий представлены в [2].

Основными силовыми электроприемниками общественных зданий являются:

- технологическое оборудование;
- сантехническое оборудование;
- приборы охранно-пожарной сигнализации.

Напряжение силовой сети общественных зданий составляет 380/220 В.

На вводе сетей электроснабжения в общественные здания устанавливается энергопринимающее устройство, чаще всего это вводно-распределительное устройство (далее – ВРУ-0,4 кВ).

Рассмотрим систему электроснабжения общественного здания на примере общеобразовательной организации (средней школы) города Сургута с универсальной безбарьерной средой на 1 500 учащихся.

Здание школы представляет собой сложное строение размерами 162,9 × 89,1 м в осях, высотой 18,5 м.

В качестве исходных данных для проектирования системы электроснабжения принимается следующее:

- разработанные планировки в разделах АР и КР проектной документации;

- категория электроснабжения: первая – лифты для пожарных подразделений, аварийное освещение, приборы системы ПС и АДУ, дымоудаление; вторая – технологическое оборудование, общеобменная вентиляция, рабочее освещение [2].

- источник электроснабжения – РУ 0,4 кВ трансформаторной подстанции в непосредственной близости от границы земельного участка, выделенного под строительство.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Кроме основных источников питания, в систему электроснабжения проектируемой общеобразовательной организации предполагается интегрировать резервный (автоном-

ный) источник питания – солнечную электростанцию. Электроприемниками, запитанными от нее, являются:

- наружное освещение территории проектируемой общеобразовательной организации;
- освещение коридоров проектируемого здания.

Идея состоит в установке на крыше проектируемого здания каскада солнечных батарей, участвующих в генерации электрической энергии с ее накоплением в течение светлого времени суток и использованием в течение темного периода суток. Высвобождаемая электрическая энергия будет использоваться для освещения коридоров и прилегающей к зданию территории (спортивные площадки, зоны отдыха).

Скептицизм применения солнечных батарей в северных городах понемногу уступает место здоровому расчету: выпуск солнечных панелей с каждым годом увеличивается, стоимость панелей и их коэффициент полезного действия растет. На юге Тюменской области, например в г. Тобольске, солнечными батареями оснащаются светофоры на центральных улицах города, площадки для выгула собак.

Особенности реализации предлагаемого технического решения:

- солнечная энергия обеспечивает питание системы освещения через источник бесперебойного питания. При его разрядке питание системы автоматически переводится на резервный источник питания ВРУ-0,4 кВ здания. Тем самым обеспечивается условие питания цепей освещения по первой категории электроснабжения с автоматическим переключением на резервный ввод;

- для уменьшения нагрузки на сеть применяются устройства, ограничивающие работу светильников наружного освещения при отсутствии необходимости в нем. В цепи питания наружного освещения здания используется фотореле «день – ночь», обеспечивающее включение освещения только в темное время суток. Кроме того, светильники площадки для отдыха снабжаются датчиками присутствия.

Для уменьшения нагрузки на сеть дополнительно применяются светодиодные лампы, обеспечивающие достаточную освещенность при сравнительно невысоком потреблении электрической мощности:

- RSL-Street-L-200W (количество $N_{RSL1} = 6$, класс защиты корпуса – IP66, потребляемая активная мощность $P_{RSL1} = 200$ Вт, световой поток – 27 000 – 30 000 Лм, цветовая температура – 2 700 – 5 000 К).

- RSL-Street-S-40W (количество $N_{RSL2} = 38$, класс защиты корпуса – IP66, мощность $P_{RSL2} = 40$ Вт, световой поток – 5 400 – 6 000 Лм, цветовая температура – 2 700 – 5 000 К), (рис. 1).



Рис. 1. Светильник RSL-Street-S-40W [3]

Расчетное значение мощности для системы наружного (уличного) освещения:

$$P_{\text{нар.о}} = (N_{RSL1} \cdot P_{RSL1}) + (N_{RSL2} \cdot P_{RSL2}), \quad (1)$$

$$P_{\text{нар.о}} = (6 \cdot 200) + (38 \cdot 40) = 2720 \text{ Вт} = 2,72 \text{ кВт}. \quad (1)$$

Для установки на крышу здания применены панели HVL-325/HJT [4] отечественного производства компании «Хевел», г. Новочебоксарск. Параметры выходной мощности: 325 Вт при габаритных размерах панели 1671 мм × 1002 мм, КПД панелей 19,4 %. Стоимость одной панели не превышает 15 тысяч рублей.

Солнечные панели устанавливаются под углом 70°, что на 9° больше широты города Сургута (61° 25'). В этом случае их применение зимой дает большую эффективность, чем летом, дополнительно упрощается обслуживание панелей, так как снег и осадки

не задерживаются на поверхности батарей и естественным ходом сходят вниз [5].

С учетом площади крыши возможна установка 200 таких панелей, что дает выходную мощность 65 кВт в пиковый период генерации при минимальном загрязнении панелей.

Согласно расчету электрических нагрузок мощность рассматриваемых электроприемников составляет:

- аварийное освещение – 22,2 кВт;
- наружное освещение – 2,7 кВт.

По формуле (2) рассчитывается суммарная мощность освещения $P_{\text{осв}}$ наружной подсветки и аварийного освещения:

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{нар.о}} + P_{\text{авар.о}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{нар.о}}$ – мощность наружного освещения здания,

$P_{\text{авар.о}}$ – мощность аварийного освещения здания,

K_c – коэффициент спроса.

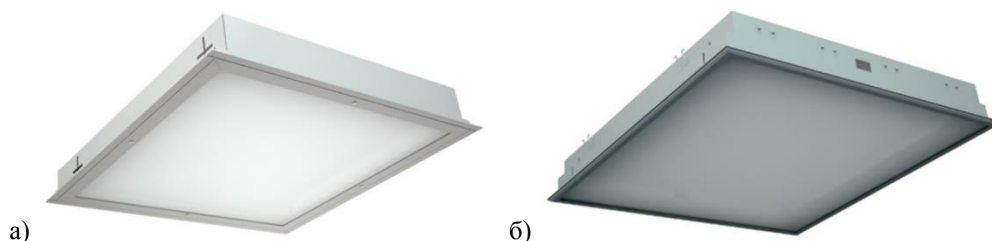


Рис. 2. Светильники: а – OWP/R 414; б – OPM/R 414 [6]

Часть светильников аварийного освещения переводится на использование в ночное время для обеспечения освещения коридоров

и холлов, что составляет 20 % от общего значения нагрузки. Для этого применены следующие светильники (рис. 2):

- OWP/R 414 (класс защиты корпуса IP 54, потребляемая активная мощность $P_{OWP} = 4 \cdot 16$ Вт, световой поток 1 200 Лм, цветовая температура – 3 000 – 4 000 К);

- OPM/R 414 (класс защиты корпуса IP 20, потребляемая активная мощность $P_{OPM} = 4 \cdot 16$ Вт, световой поток 1200 Лм, цветовая температура – 3 000 – 4 000 К).

Расчетная мощность аварийного освещения здания:

$$P_{\text{авар.о}} = 0,2 \cdot P_{\text{авар.о}}^{\text{ном}}; \quad (3)$$

$$P_{\text{авар.о}} = 0,2 \cdot 22,2 = 4,44 \text{ кВт.} \quad (1)$$

Суммарная мощность сети освещения составит:

$$P_{\text{осв}} = 2,72 + 1 \cdot 4,44 = 7,16 \text{ кВт.}$$

Реактивная мощность $Q_{\text{осв}}$ и полная мощность $S_{\text{осв}}$ сети освещения определяются по формулам:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}; \quad (4)$$

$$S_{\text{осв}} = \frac{P_{\text{осв}}}{\cos \varphi}, \quad (5)$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности (для светодиодных светильников – 0,95; для люминесцентных – 0,96).

$$Q_{\text{осв}}^{\text{LED}} = 2,72 \cdot \sqrt{1 - 0,95^2} = 0,849 \text{ кВ} \cdot \text{Ар};$$

$$S_{\text{осв}}^{\text{LED}} = \frac{2,72}{0,95} = 2,863 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$Q_{\text{осв}}^{\text{ЛЛ}} = 4,44 \cdot \sqrt{1 - 0,96^2} = 1,243 \text{ кВ} \cdot \text{Ар};$$

$$S_{\text{осв}}^{\text{ЛЛ}} = \frac{4,44}{0,96} = 4,625 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{\text{осв}} = S_{\text{осв}}^{\text{LED}} + S_{\text{осв}}^{\text{ЛЛ}},$$

$$S_{\text{осв}} = 2,863 + 4,625 = 7,488 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Для накопления солнечной энергии в ходе генерации и резервирования питания цепей освещения применяется источник бесперебойного питания (далее – ИБП) мощностью 8 кВ·А марки Riello Sentinel Power Green SPH 8 (рис. 3).



Рис. 3. ИБП Riello Sentinel Power Green SPH 8 [7]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из представленных результатов расчета следует: предложенный автономный источник электрической энергии для электропитания приборов освещения коридоров и холлов, а также наружного освещения прилегающей к зданию территории позволит обеспечить электрической энергией указанные электроприемники в течение всего года, в том числе и в периоды минимальной солнечной активности.

Электрическая энергия, вырабатываемая проектируемой солнечной электростанцией

(далее – СЭС), в течение светлого времени суток аккумулируется в накопителях электрической энергии, в качестве которых приняты аккумуляторные батареи типа SunStonePower LiFePO4 48-200 в количестве 10 штук. Во избежание непреднамеренного расхода накопленной электрической энергии в светлое время суток в схеме выдачи мощности от СЭС установлен коммутационный аппарат, включение которого происходит только после срабатывания датчика освещенности (предусмотрен в системе управления СЭС). С помощью инвертора типа SILA

PRO 10000МН электрическая энергия, накопленная в аккумуляторах, преобразуется в энергию переменного тока и распределяется по соответствующим электроприемникам.

Интеграция солнечной электростанции с основной системой электроснабжения здания выполнена через шкаф автоматического включения резерва (далее – АВР), что позволяет обеспечить бесперебойное электроснабжение указанных выше электроприемников: при разрядке аккумуляторных батарей и отсутствии выработки энергии от СЭС (темное время суток) напряжение в сети «СЭС – электроприемники» снижается ниже допустимого (более 5 % от номинального), срабатывает АВР и питание продолжается уже от ВРУ-0,4 кВ, т. е. от энергосистемы. При восстановлении уровня напряжения в сети СЭС (аккумуляторы заряжены), происходит обратное переключение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования установлено, что расчетная мощность системы внутреннего и наружного освещения, при условии использования современных светодиодных источников света, не превышает $S_{\text{осв}} = 7,488 \text{ кВт} \cdot \text{А}$. Для электроснабжения этих систем предлагается использовать интегрированную СЭС с размещением солнечных панелей на крыше здания, определены состав и основные технические параметры элементов СЭС. Рассмотренное техническое решение сочетает в себе экономический эффект и эффект повышения безопасности жизнедеятельности общественного здания. Представленный подход в дальнейшем может быть использован при проектировании электроустановок жилых и общественных зданий.

Список источников

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ. Доступ из СПС «КонсультантПлюс».
2. Электроустановки жилых и общественных зданий правила проектирования и монтажа : свод правил СП 256.1325800.2016 от 29.08.2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139957> (дата обращения: 12.04.2022).
3. Светильник RSL-Street-S-40W. URL: https://www.fsenergo.com/outdoor_LED_lighting/rsl_street_s_40w/ (дата обращения: 12.04.2022).
4. Солнечный модуль HVL-325/HJT. URL: <https://www.hevelsolar.com/catalog/solnechnye-moduli/modul-fotoelektricheskii-hvl-325hjt/> (дата обращения: 12.04.2022).
5. Теруков Е. И., Шварц М. З., Аронова Е. С., Охоткин Г. П. Особенности работы тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния в составе электростанции на широте г. Чебоксары // Динамика нелинейных электротехнических и электронных систем : материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары : Изд-во Чуваш. гос. ун-та, 2011. С. 222–224.
6. Светильники OWP/R 414 и OPM/R 414. URL: <https://light-technology.ru/katalog/vnutrennee-osveshhenie/potolochnye/> (дата обращения: 12.04.2022).
7. Источник бесперебойного питания Riello Sentinel Power Green SPH 8. URL: <https://mototech.ru/ibp/riello-sentinel-power-green-sph-8/> (дата обращения: 12.04.2022).

References

1. On Energy Saving, Improving Energy Efficiency, and Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation : Federal Law No. 261-FZ of 23.11.2009. Accessed through Law assistance system “Consultant Plus”. (In Russian).
2. Electrical Installations of Residential and Public Buildings Design and Installation Rules : Set of Rules SP 256.1325800.2016 of 29.08.2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139957> (accessed: 12.04.2022). (In Russian).
3. Svetilnik RSL-Street-S-40W. URL: https://www.fsenergo.com/outdoor_LED_lighting/rsl_street_s_40w/ (accessed: 12.04.2022). (In Russian).
4. Solnechnyi modul HVL-325/HJT. URL: <https://www.hevelsolar.com/catalog/solnechnye-moduli/modul-fotoelektricheskii-hvl-325hjt/> (accessed: 12.04.2022). (In Russian).
5. Terukov E. I., Shvarts M. Z., Aronova E. S., Okhotkin G. P. Osobennosti raboty tonkoplenochnykh solnechnykh modulei na osnove kremniia v sostave elektrostantsii na shirote g. Cheboksary // Dinamika nelineinykh elektrotekhnicheskikh i elektronnykh sistem : Proceedings in IX All-Russian Scientific and Engineering Conference. Cheboksary : Publishing House Chuvash State University, 2011. P. 222–224. (In Russian).
6. Svetilniki OWP/R 414 i OPM/R 414. URL: <https://light-technology.ru/katalog/vnutrennee-osveshhenie/potolochnye/> (accessed: 12.04.2022). (In Russian).
7. Istochnik bespereboinogo pitaniia Riello Sentinel Power Green SPH 8. URL: <https://mototech.ru/ibp/riello-sentinel-power-green-sph-8/> (accessed: 12.04.2022). (In Russian).

8. Литий-железно-фосфатный аккумулятор SunStonePower LiFePO4 48-200. URL: <https://e-solarpower.ru/batteries/lifepo4/akkumulyator-sunstonepower-lifepo4-48-200/> (дата обращения: 12.04.2022).
8. Litii-zhelezno-fosfatnyi akkumulyator SunStonePower LiFePO4 48-200. URL: <https://e-solarpower.ru/batteries/lifepo4/akkumulyator-sunstonepower-lifepo4-48-200/> (accessed: 12.04.2022). (In Russian).

Информация об авторах

Г. В. Иванов – кандидат технических наук, доцент.

Л. В. Владимиров – кандидат технических наук.

Е. Ю. Кислицин – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

G. V. Ivanov – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor.

L. V. Vladimirov – Candidate of Sciences (Engineering).

E. Yu. Kislitsin – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor.