УДК 338.28 DOI: 10.18324/2224-1833-2026-3-122-130

Энергетический аудит электропотребления общеобразовательной школы с учётом характеристик деревянных светопрозрачных конструкций

П.А. Федяев[1a], Ал.А. Федяев[2b], Н.А. Гончарова[1c]

[1] Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия
[2] Санкт-Петербургский лесотехнический университет, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия
[a] vends@mail.ru, [b] vends1@mail.ru, [c] goncharova-n@mail.ru
[a] https://orcid.org/0009-0008-9288-0514, [b] https://orcid.org/ 0000-0001-6233-3757,
[c] https://orcid.org/0000-0002-4231-0272
Статья поступила 28.08.2026, принята 18.09.2026.

Статья посвящена энергетическому менеджменту электропотребления в учреждении бюджетной сферы. Рассмотрены ключевые составляющие результативного управления энергоресурсами образовательной организации, нацеленного на оптимизацию расхода энергии, сокращение затрат и рост энергоэффективности. Выявлены характерные проблемы: морально устаревшее освещение, нерациональная эксплуатация оборудования, отсутствие постоянных механизмов контроля за расходованием ресурсов. Сформулированы рекомендации по применению современных энергосберегающих решений – переходу на энергосберегающие источники света, обновлению инженерных сетей, обучению персонала принципам бережливого потребления. Отдельно рассмотрено улучшение характеристик деревянных светопрозрачных ограждений, от которых зависят как естественная освещённость помещений, так и теплопотери в зимний период, определяющих комфортное обучение и работу. Затронуто нормативно-правовое регулирование энергосбережения в образовательных учреждениях, а также стандарты проектирования и эксплуатации зданий с позиций энергетической эффективности. Предложены практические меры по уменьшению удельного электропотребления в расчёте на одного учащегося и на квадратный метр площади школы. Дано экономическое обоснование мероприятий с оценкой ожидаемой экономии бюджетных средств и сроков окупаемости вложений в энергосберегающие технологии. Полученные результаты дают основу для комплекса мер по повышению энергоэффективности городской средней общеобразовательной школы, создающих комфортную образовательную среду и формирующих культуру бережного отношения к энергетическим ресурсам.

Ключевые слова: энергетический менеджмент; удельное энергопотребление зданий; нормативно-правовое регулирование ресурсосбережения; капитальные вложения в энергоэффективность.

Energy management of electricity consumption in a secondary school taking into account the characteristics of wooden translucent enclosing structures

P.A. Fedyaev[1a], Al.A. Fedyaev[2b], N.A. Goncharova[1c]

[1] Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia
[2] St. Petersburg Forest Engineering University; 5, Institutsky Lane, St. Petersburg, Russia
[a] vends@mail.ru, [b] vends1@mail.ru, [c] goncharova-n@mail.ru
[a] https://orcid.org/0009-0008-9288-0514, [b] https://orcid.org/ 0000-0001-6233-3757,
[c] https://orcid.org/0000-0002-4231-0272
Received 28.08.2026, accepted 18.09.2026.

The article is devoted to energy management of electricity consumption in a public sector institution. The key components of effective energy resource management in an educational organization, aimed at optimizing energy consumption, reducing costs, and increasing energy efficiency, are examined. Typical problems have been identified: outdated lighting, irrational equipment operation, and the lack of permanent mechanisms for monitoring resource consumption. Recommendations have been formulated for the implementation of modern energy‑saving solutions – the transition to energy‑saving light sources, the upgrade of engineering networks, and staff training in the principles of frugal consumption. The improvement of the characteristics of wooden translucent enclosures has been considered separately; these characteristics affect both the natural illumination of rooms and heat loss during the winter period, which determine comfortable learning and working conditions. The regulatory and legal framework for energy saving in educational institutions, as well as the standards for the design and operation of buildings from the perspective of energy efficiency, have also been addressed. Practical measures have been proposed to reduce the specific electricity consumption per student and per square meter of school area. An economic justification of the measures has been provided, including an assessment of the expected budget savings and the payback period for investments in energy‑saving technologies. The results obtained form the basis for a set of measures to improve the energy efficiency of a city secondary school, creating a comfortable educational environment and fostering a culture of careful use of energy resources.

Keywords: energy management; specific energy consumption of buildings; regulatory and legal framework for resource conservation; capital investments in energy efficiency.

Введение. Под энергосбережением понимается распространение высокоэффективных энергетических технологий на все отрасли хозяйства: от топливно-энергетического комплекса и энергоёмкой промышленности до коммунального сектора, агропромышленного производства и электрического транспорта.

Оптимизации подлежит вся цепочка преобразования энергии – начиная с добычи первичных энергоносителей и заканчивая конечным её использованием хозяйствующими субъектами. Инструментами здесь служат эффективные технологии выработки, передачи и распределения энергии; опережающее развитие возобновляемой генерации; технические решения, уменьшающие удельные расходы топлива и электроэнергии; обновление и реконструкция оборудования; утилизация вторичных энергетических ресурсов; переход с дорогих видов топлива на более дешёвые, в том числе местные.

Одними лишь техническими мерами проблема не исчерпывается: необходима система управления, охватывающая и получение энергии, и её доставку потребителям, и само потребление. Такую функцию выполняет энергетический менеджмент – комплекс организационно-технических мер, повышающих эффективность использования топливно-энергетических ресурсов. По своей сути это гибкое, непрерывное и научно обоснованное управление энергоресурсами, реализуемое на любом уровне – от отдельного цеха до предприятия, концерна и отрасли в целом [1].

Ключевая функция энергоменеджмента состоит в комплексном анализе энергопотребления и его динамики в связи с реализуемыми энергосберегающими мероприятиями; сюда входят учёт, контроль и, как итоговая цель, сведение к минимуму расхода топливно-энергетических ресурсов.

Энергетическое обследование средней общеобразовательной школы выполнялось на основе Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [2] и Приказа «Об утверждении примерного перечня мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности» [3].

Доля государственных бюджетных организаций – учреждений образования, здравоохранения и культуры, объектов Минобороны, МЧС, МВД, ФСБ, судебной системы, спортивных сооружений, административных зданий и т. д. – в топливно-энергетическом балансе страны составляет примерно одну десятую часть. При этом их энергозатраты, по имеющимся оценкам, могут быть сокращены примерно до половины по отношению к текущему объёму затрат [4].

В числе наиболее энергоёмких государственных учреждений России находятся образовательные организации. К основным причинам относятся: высокий износ зданий бюджетной сферы; недостаточная квалификация эксплуатирующего персонала для подбора и внедрения энергосберегающих решений; нехватка финансирования; отсутствие регламента формирования и расходования сэкономленных бюджетных средств, а также тарифных стимулов к энергосбережению для объектов, финансируемых из бюджета. Потенциал энергосбережения в социально-бюджетном секторе оценивается практически в половину [5].

Поэтому актуальность энергетических обследований бюджетных учреждений, разработки обоснованных программ энергосбережения в бюджетной сфере, их финансирования из бюджета и последующей подготовки эксплуатирующего персонала. Объектом данного исследования выступает здание средней общеобразовательной школы, построенное по типовому проекту 222-1-278; анализ опирается на данные об энергопотреблении и результаты натурных измерений освещённости за 2024–2026 гг.

Цель работы. Энергетическое обследование проводилось для того, чтобы на основе объективных сведений о фактическом техническом состоянии образовательного учреждения сформировать перспективные направления повышения их энергоэффективности [6].

Средняя общеобразовательная школа на 40 классов, проект которой разработан ЦНИИЭП учебных зданий и введён в действие приказом № 114 от 30 ноября 1976 г.

Капитальные наружные ограждающие конструкции выполнены из крупных железобетонных панелей, внутренние перегородки – кирпичные, крыша из железобетонных плит с рубероидным покрытием. Полы – половая доска, покрытие линолеум. Деревянные оконные блоки с тройным остеклением изношены в наибольшей степени. Капитального ремонта здания с момента ввода в эксплуатацию не проводилось; износ конструктивных элементов оценивается примерно в одну треть их нормативного срока службы.

Результаты работы. Энергоснабжение школы складывается из потребления трёх видов ресурсов: электрической энергии, тепловой энергии (в том числе на горячее водоснабжение) и холодного водоснабжения.

Электроэнергия поступает в здание от ТП 10/0,4 кВ № 306 (РУ 0,4 кВ) ООО «Иркутская энергосбытовая компания» по трём кабельным линиям протяжённостью 32 и 138 м, выполненным кабелем АВВГ 3×35×1×16.

Электрическую энергию потребляют системы освещения, электрооборудование классов и лабораторий, вентиляция, оргтехника и бытовые электроприборы.

Структура затрат на энергоресурсы за 2025 г. представлена на рис. 1.

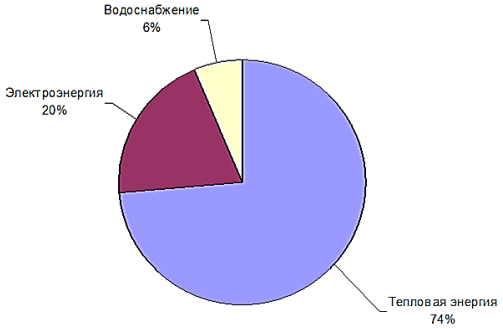


Рис. 1. Процентное соотношение стоимости энергоресурсов

Коммерческий учёт электроэнергии ведётся тремя счётчиками активной энергии Цэ6803ВМ для трёхфазных сетей переменного тока. Показания фиксируются ежемесячно. Приборы учёта находятся в удовлетворительном состоянии.

Кроме того, потребление электроэнергии учитывается через трансформаторы тока Т-066У3 и двумя счётчиками активной энергии СА4У-И672М с классом точности 2.

За 2025 г. школа израсходовала 151,650 тыс. кВт · ч электроэнергии, за четыре месяца 2026 г. – 51,090 тыс. кВт · ч. Помесячные данные об электропотреблении за 2024–2026 гг. приведены на рис. 2 и в табл. 1.

Из рис. 2 видно, что в ноябре, декабре, январе и феврале 2025 г. наблюдались всплески потребления электроэнергии, которые, вероятно, обусловлены работой электронагревателей. Умеренный рост электропотребления в зимний период объясняется увеличением осветительной нагрузки и работой приточной вентиляции.

Напряжение питающей сети находилось в пределах 221–229 В, что соответствует требованиям [7].

Электропроводка школы не обновлялась с момента постройки здания, зафиксировано ослабление её состояния.

Освещение классов, школьных этажей и рекреаций организовано потолочными светильниками с плафонами (двухламповыми), классическими лампами накаливания.

Удельная установленная мощность искусственного освещения в аудиториях равна

$$П_0 = 21{,}8 \text{ Вт/м}^2.$$

Параметры удельной мощности систем освещения для остальных школьных помещений, определённые на основе данных о реальной работе оборудования, представлены в табл. 2.

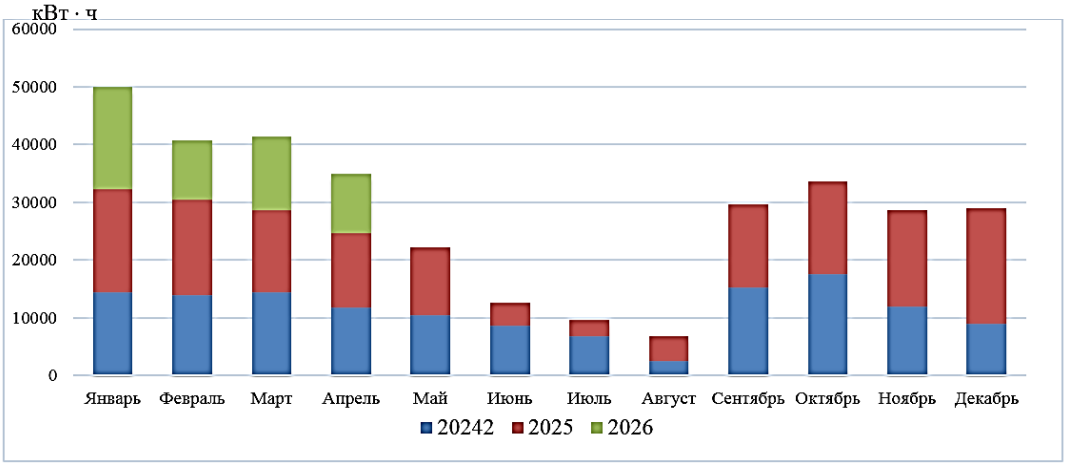


Рис. 2. Динамика потребления электрической энергии по годам

Таблица 1. Потребление электрической энергии по годам

	2024		2025		2026	
	потреблено	лимит	потреблено	лимит	потреблено	лимит
Январь	14 420	–	17 850	–	17 790	–
февраль	13 980	–	16 500	–	10 320	–
Март	14 480	–	14 190	–	12 780	–
Апрель	11 760	–	12 990	–	10 200	–
Май	10 460	–	11 790	–	–	–
Июнь	8620	–	3930	–	–	–
Июль	6760	–	2910	–	–	–
Август	2500	–	4260	–	–	–
Сентябрь	15 200	–	14 520	–	–	–
Октябрь	17 511	–	16 080	–	–	–
Ноябрь	11 910	–	16 680	–	–	–
Декабрь	8990	–	19 950	–	–	–
Всего	136 591	–	151 650	–	51 090	–

Таблица 2. Удельная установленная мощность искусственного освещения

Помещение	**Площадь, м²**	**Мощность ОУ, Вт**	**P_0 факт, Вт/м²**
Кабинет 307	55,2	1040	18,8
Кабинет 226	55	1200	21,8
Коридор (около 108)	182	1280	7,03
Спортзал (большой)	289	4000	13,84

Из табл. 2 следует, что удельная мощность ОУ во всех обследованных помещениях существенно ниже предельно допустимого значения 25 Вт/м^2, установленного в [8].

В ходе обследования в контрольных точках помещений школы выполнены выборочные измерения освещённости люксметром. Полученные значения для искусственного освещения представлены в табл. 3.

Таблица 3. Значения освещённости в помещениях школы

№	Помещение	Освещённость, лк				
		Замеры освещённости в трёх точках				Норма / рекомендовано
		1	2	3	Ср. знач.	
1 этаж						
1	Кабинет 107	487	107	472	355	300/500
2	Кабинет 108	362	372	409	382	300/500
3	Коридор (южная сторона)	192	–	–	192	150
4	Коридор (вахта)	116	60	–	88	150
5	Коридор (автошкола)	34	62	–	48	150
6	Кабинет 115	320	394	410	375	300/500
2 этаж						
1	Спортзал	231	260	216	236	200
2	Коридор (южная сторона)	49	41	–	45	150
3	Кабинет 206	434	336	–	385	300/500
4	Коридор (западная сторона)	20	21	–	20,5	150
5	Кабинет 213	434	523	511	489	300/500
6	Кабинет 217	586	539	–	563	300/500
7	Кабинет 226	530	625	461	539	300/500
3 этаж						
1	Кабинет 307	410	369	–	390	300/500
2	Коридор (южная сторона)	4	64	–	34	150
3	Коридор (западная сторона)	111	45	192	116	150
4	Кабинет 313	640	471	408	506	300/500
5	Кабинет 317	670	622	–	646	300/500
6	Коридор (северная сторона)	81	49	–	65	150
7	Кабинет 321	780	616	545	647	300/500
8	Малый тренировочный зал	60	47	–	54	200

Одновременно с измерениями освещённости в помещениях и коридорах были выявлены неработающие лампы в люстрах, светильниках и осветительных установках:

– 1 этаж: коридор (вахта) – не работают 13 из 24 светильников; коридор (автошкола) – 11 из 14; каб. 107 – 1 из 13; каб. 108 – 2 из 12; коридор (южная сторона, у каб. 108) – 19 из 27;

– 2 этаж: коридор (южная сторона) – не работают 4 из 26 ламп накаливания; коридор (западная сторона) – 7 из 13 ламп накаливания; каб. 213 – 3 из 16 светильников;

– 3 этаж: коридор (южная сторона) – не работают 18 из 22 светильников; коридор (западная сторона) – 6 из 12; коридор (северная сторона) – 17 из 23; малый тренировочный зал – 2 из 9.

Результаты измерений показывают, что в большинстве кабинетов и прочих помещений освещённость не достигает нормативных значений; исключение составляют несколько кабинетов (табл. 3), где нормы превышены. Недостаточная освещённость кабинетов вызвана главным образом нехваткой мощности осветительных установок, неисправными либо отсутствующими лампами и светильниками, а также загрязнением плафонов.

Доля исправных ламп от их общего количества по школе в целом составляет около 91 %.

Использованию естественного освещения в кабинетах мешают деревья, растущие в непосредственной близости от здания, и нерегулярное мытьё окон.

В результате проведённого энергоаудита был сформирован реестр ключевых потребителей электроэнергии учебного заведения. В него вошли системы освещения, вентиляционные узлы, инфраструктура пищеблока, компьютерная и офисная техника, а также электроприборы кабинетов, лабораторий и бытовые устройства. Согласно экспертной оценке, структура установленной мощности выглядит следующим образом: светотехническое оборудование суммарно потребляет 116,7 кВт. В этой группе на долю классических ламп накаливания приходится 19,6 кВт (241 ед.), на уличные светильники типа РКУ с лампами накаливания – 10 кВт (40 ед.), на освещение рекреационных зон – 19,42 кВт, а на цокольные и подвальные помещения – 1,26 кВт.

Оснащение лабораторий и учебных классов составляет 12,8 кВт, где основная нагрузка идёт от электроплит (12 кВт), а на швейные машины приходится 0,8 кВт.

Техника пищеблока имеет общую мощность 42,1 кВт. Из них 9,45 кВт потребляет один электрический котел, 2,2 кВт – мясорубка, и 0,25 кВт суммарно приходится на три холодильные установки.

Вентиляционные системы характеризуются мощностью 4,5 кВт.

Офисная и компьютерная техника оценивается в 31,2 кВт, при этом на долю персональных компьютеров (53 единицы) выделено 15,9 кВт (остальной объем распределен между принтерами и МФУ).

Бытовой сектор (чайники, обогреватели, телевизоры) занимает 11,5 кВт.

Визуализированная структура (рис. 3) демонстрирует, что наибольший потенциал энергосбережения и максимальная доля нагрузки сосредоточены в трёх сегментах: искусственном освещении (50 %), оборудовании столовой (22 %) и средствах оргтехники (13 %).



Рис. 3. Результаты дифференциации совокупной электрической мощности школы (218,7 кВт) по группам потребителей

Ввиду отсутствия исчерпывающих сведений о точном графике функционирования и энергоёмкости всего парка электрооборудования, совокупное электропотребление было условно дифференцировано на силовую и осветительную составляющие.

При оценке годового расхода электрической энергии на нужды искусственного освещения учитывались базовые параметры: регламентированная длительность работы искусственного освещения (5 часов в день) при расчётном периоде 205 учебных дней, а также совокупная установленная мощность светотехнических систем (116,7 кВт) и долевой показатель исправно функционирующего светотехнического оборудования – 0,91.

Расчёт годового электропотребления освещения составил:

$$Э_{оу} = 118{,}4 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч / год.}$$

Следовательно, на освещение в 2025 г. пришлось 118,42 тыс. кВт · ч (78,08 %), на силовую нагрузку – 33,23 тыс. кВт · ч (21,92 %).

Объём резерва повышения энергоэффективности формируется на основе численного анализа зафиксированных источников нецелевых потерь электрической энергии. В рамках данного исследования к числу таких факторов были отнесены: избыточное затенение фасада здания древесно-кустарниковой растительностью; низкая периодичность очистки светопрозрачных конструкций [10]. Нивелирование указанных негативных факторов позволяет оценить потенциал снижения электропотребления в системе искусственного освещения примерно в 10 % от текущего уровня, что в абсолютном выражении эквивалентно экономии порядка 11,8 тыс. кВт · ч в год.

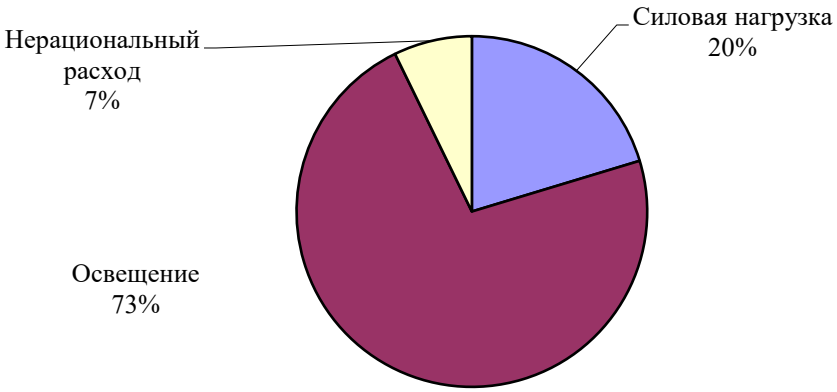


Рис. 4. Долевая структура фактического годового электропотребления образовательного учреждения за 2025 г. при общем объёме 151,65 тыс. кВт · ч

Расчёт удельных параметров электропотребления, систематизированных в табл. 4, базируется на комплексе исходных пространственно-технических и эксплуатационных характеристик объекта. В качестве базовых метрик использована общая площадь школьных помещений, составляющая 4299,2 м², при совокупной установленной мощности электрооборудования 218,7 кВт (включая 116,7 кВт, приходящихся на долю светотехнических систем).

Валовое годовое потребление электрической энергии принято на уровне 151,65 тыс. кВт · ч, из которых 118,42 тыс. кВт · ч расходуется на искусственное освещение, а 33,23 тыс. кВт · ч составляет доля силовой нагрузки.

Социально-эксплуатационные параметры учреждения определяются штатной численностью персонала (76 человек) и контингентом учащихся, который составляет 408 человек (при организации образовательного процесса в одну смену). Расчётный период функционирования здания школы зафиксирован в объёме 205 рабочих дней в году.

Таблица 4. Удельные показатели электропотребления и мощности за 2025 г.

Показатель	кВт · ч/м^2	кВт · ч/чел.	кВт · ч/сут.	ОУ Вт/м^2
Величина	35,27	1995	739	27,14

Заключение. Разработка комплекса энергосберегающих мероприятий.

1. В качестве приоритетного направления повышения энергоэффективности образовательного учреждения выступает интенсификация использования естественной инсоляции. В настоящее время деструктивное влияние на пропускную способность светопрозрачных конструкций оказывает избыточное затенение фасадов прилегающими зелеными насаждениями, а также недостаточная периодичность очистки оконных проёмов, что приводит к вынужденному росту электропотребления в системе общего искусственного освещения. Для минимизации нерациональных потерь ресурсов и оптимизации режимов энергопотребления на объекте рекомендовано внедрение следующих технологических и эксплуатационных решений: санитарно-техническое обслуживание светотехнического парка, включающее регулярную очистку рассеивателей и плафонов закрытых осветительных установок; интеграция систем зонального (местного) освещения на участках с дефицитом люминесцентного потока, а также точечная модернизация мощности осветительного оборудования в учебных классах для достижения нормативных параметров освещённости; комплексная реновация элементов внутридомовой распределительной сети, предполагающая замену этажных автоматических выключателей и обновление магистральной кабельной проводки, что позволит стабилизировать параметры сети и обеспечить эксплуатационную надежность всего комплекса электрооборудования.

Предлагаемые мероприятия по экономии электроэнергии.

Ликвидация выявленных источников нерационального энергопотребления в образовательной организации представляет собой первоочередной этап модернизации. Согласно расчётным оценкам, реализация данного комплекса мер обеспечит снижение годового расхода электрической энергии на нужды искусственного освещения приблизительно на 10 % (что составляет порядка 4 % в структуре совокупного электропотребления объекта). В абсолютном выражении прогнозируемый эффект эквивалентен экономии 11,8 тыс. кВт · ч в год. Предлагаемые решения носят организационно-технический характер, обладают коротким периодом внедрения и не требуют привлечения капитальных инвестиций, что существенно повышает их технико-экономическую привлекательность.

2. Модернизация светотехнического оборудования путём интеграции энергоэффективных источников света. В ряде вспомогательных зон образовательного учреждения – в частности, в отдельных коридорных пространствах, на путях эвакуации (лестничных клетках) и в санитарно-бытовых помещениях зафиксирована непрерывная эксплуатация традиционных ламп накаливания (ЛН), функционирующих без учёта интенсивности естественной инсоляции и фактического присутствия людей. Данный тип источников света характеризуется неудовлетворительными показателями светоотдачи, низкой энергетической эффективностью и критически малым эксплуатационным ресурсом, не превышающим 1000 часов. Дополнительным деструктивным фактором является использование в части учебных аудиторий люминесцентных светильников устаревших модификаций, отличающихся низким коэффициентом полезного действия (КПД). В рамках проведения плановых ремонтных работ в учебных классах целесообразно осуществлять поэтапную реновацию осветительных установок с заменой оборудования на современное энергоэффективное и приведением плотности размещения светильников к нормативным показателям [11]. В качестве базовой меры по оптимизации вспомогательного освещения рекомендуется замена ламп накаливания на энергосберегающие, расчётный срок службы которых в 8–10 раз превышает параметры ЛН, а световая отдача выше в 5 раз [12]. Благодаря оснащению интегрированных энергосберегающих ламп стандартным резьбовым цоколем, их монтаж реализуется в рамках существующей светотехнической арматуры без необходимости конструктивной переделки светильников. Широкий диапазон коррелированной цветовой температуры КЛЛ (2700–6000 К) позволяет варьировать спектральный состав излучения (от тёплого до дневного белого света), обеспечивая гибкость при формировании требуемых визуально-эстетических и эргономических параметров световой среды в помещениях различного назначения.

Техническое перевооружение осветительных комплексов путём демонтажа физически изношенного и морально устаревшего оборудования в пользу высокоэффективных люминесцентных аналогов позволяет достичь существенного снижения совокупной установленной мощности. Высокий потенциал энергосбережения в данном случае обусловлен повышенным коэффициентом полезного действия новых приборов, оптимизированной кривой силы света (КСС), а также минимизацией технологических потерь в контурах электронной пускорегулирующей аппаратуры (ЭПРА) [13].

Практическая реализация рассматриваемого сценария предполагает замещение 241 единицы традиционных ламп накаливания со средней индивидуальной мощностью 80 Вт на современные энергосберегающие

источники света мощностью 20 Вт, генерирующие эквивалентный по интенсивности световой поток. Согласно выполненным расчётам, простой период окупаемости данных капиталовложений составляет 1,47 года, что свидетельствует о высокой коммерческой и эксплуатационной эффективности предлагаемой модернизации.

В спортивных залах и в наружном освещении школы установлены 40 светильников с лампами ДРЛ 250 Вт. Их предлагается заменить лампами ДНаТ 150 Вт без снижения светового потока; при этом потребуется также замена пускорегулирующей аппаратуры светильников. Годовая экономия электроэнергии составит 4 тыс. кВт · ч.

Программой модернизации предусматривается демонтаж изношенных люминесцентных приборов и их последующее замещение передовыми светотехническими комплексами, функционирующими на базе электронной пускорегулирующей аппаратуры (ЭПРА) в сочетании с высокоэффективными линейными лампами типа TL-5.Несмотря на отсутствие верифицированной технической документации от балансодержателя объекта относительно точного количественного соотношения установленных электромагнитных (ЭмПРА) и электронных пускорегулирующих аппаратов, в ходе натурного (визуального) обследования было установлено доминирование устаревших ЭмПРА. В эту группу входит 2308 источников света совокупным годовым электропотреблением около 40 тыс. кВт · ч, что эквивалентно 1154 двухламповым светильникам с индивидуальной мощностью порядка 80 Вт. Данное оборудование подлежит поэтапной замене на современные осветительные приборы единичной мощностью 56 Вт, оснащённые электронными пусковыми устройствами (или их функциональными аналогами), гарантирующими сохранение или превышение исходных параметров светового потока. Светильники, прошедшие техническое обновление ранее и соответствующие современным стандартам энергоэффективности, исключаются из графика реновации.

В результате реализации предложенного сценария реновации прогнозный объём электропотребления снизится до 28,0 тыс. кВт · ч, что обеспечит годовой энергосберегающий эффект в размере 12,0 тыс. кВт · ч. Процесс технического перевооружения целесообразно осуществлять дискретно, отдавая приоритет светотехническому оборудованию с максимальной степенью физического износа и наибольшей годовой наработкой часов. Необходимо подчеркнуть, что представленные прогнозные вычисления базируются на допущении об эквивалентной замене элементов. В условиях реального проектирования для каждого конкретного помещения требуется либо проведение комплексного светотехнического расчёта, либо локальная корректировка плотности расстановки приборов с целью компенсации выявленного дефицита или избыточности параметров световой среды [14].

Ключевой целью рассматриваемой модернизации является стабилизация эксплуатационных параметров светотехнических систем. Комплексное обновление оборудования позволяет полностью нивелировать такие негативные явления, как стробоскопический эффект (мерцание), акустический шум, неудовлетворительный индекс цветопередачи и дефицит светового потока. Дополнительный технико-экономический эффект достигается за счёт пролонгации эксплуатационного ресурса новых источников света до 19 000 часов (по сравнению с 8000 часов у базовых моделей), что существенно снижает операционные издержки на их периодическую закупку, монтаж и последующую утилизацию. При этом расчётный простой период окупаемости при сценарии единовременного замещения всего парка светильников (без экстраполяции вышеперечисленных эксплуатационных преимуществ) составляет 60 лет, что указывает на необходимость долгосрочного или поэтапного планирования данных инвестиций.

Доля ненормативного потребления и сопутствующих технологических потерь в рамках объекта оценивается в 11,8 тыс. кВт · ч, что эквивалентно приблизительно 7,0 % от совокупного расхода электрической энергии. Данный объём с высокой степенью достоверности может быть интерпретирован как целевой потенциал повышения энергоэффективности, реализуемый преимущественно за счёт комплекса организационных и беззатратных мероприятий.

Важным элементом административно-организационного контура модернизации является проведение регулярного производственного инструктажа сотрудников по вопросам минимизации нецелевой работы энергоёмких систем. Данная инициатива должна быть закреплена локальным нормативным актом (приказом об энергосбережении и повышении энергетической эффективности) образовательного учреждения. В рамках нормативного регламента предусматривается строгое соблюдение следующих эксплуатационных принципов: приоритет естественной инсоляции, выражающийся в деактивации систем общего искусственного освещения в светлое время суток при условии достижения нормативных параметров освещённости (за исключением случаев, особо оговорённых профильными санитарными правилами и сводами правил); оперативное управление световой средой, а именно исключение работы осветительных установок в зонах и помещениях при отсутствии в них дежурного персонала, обучающихся или посетителей, если непрерывный режим работы не регламентирован требованиями безопасности; обеспечение рационального режима ожидания электрооборудования, подразумевающее гарантированное отключение от питающей сети временно неиспользуемых силовых и бытовых потребителей (учебных станков, климатических систем, обогревательных приборов, персональных компьютеров и оборудования пищеблока), с особым контролем соблюдения данного регламента в ночные часы, выходные дни и каникулярные периоды.

Дополнительным вектором организационной работы должно стать обучение сотрудников методам эффективной эксплуатации интегрированных аппаратно-программных и конструктивных функций используемого оборудования. Программа повышения квалификации персонала в области энергосбережения должна быть ориентирована на освоение и практическое применение следующих технологических алгоритмов: селективное (позонное) управление осветительными комплексами, предполагающее раздельное порядковое включение световых приборов или использование иных схем коммута-

ции, позволяющих динамически адаптировать количество работающих ламп к текущему уровню естественной инсоляции для обеспечения нормативной освещённости; активация встроенных энергосберегающих профилей, предусматривающая принудительный автоматический перевод вычислительной техники и сопряжённых периферийных устройств в режим пониженного энергопотребления (гибернации или ожидания) при фиксации заданного интервала простоя; использование интегрированных систем автоматического отключения и тайминга, обеспечивающих деактивацию силовых и бытовых приборов по истечении установленного временного регламента или при достижении заданных целевых параметров (в частности, отключение климатических и нагревательных установок по сигналам встроенных термостатов, а также завершение сессий работы ПК при длительном отсутствии активности пользователя).

Принимая во внимание значительный физический износ ограждающих элементов здания (превышающий 30 %), в рамках последующего этапа реализации энергосберегающей стратегии критически важно провести комплексный аудит состояния деревянных светопрозрачных конструкций. Данные элементы традиционно являются наиболее уязвимыми узлами при долгосрочной эксплуатации объектов недвижимости. На фоне увеличенной площади остекления, характерной для зданий образовательного назначения, изношенные деревянные переплеты демонстрируют существенно сниженный интегральный коэффициент светопропускания по сравнению с современными оконными системами на основе поливинилхлоридного (ПВХ) профиля. Параллельно с технической модернизацией инфраструктуры необходимо обеспечить развитие кадрового потенциала в области ресурсосбережения. Рациональным шагом является проведение масштабной информационно-разъяснительной работы среди всех категорий сотрудников учреждения для формирования внутренней корпоративной культуры бережливого энергопотребления [15].

Литература

1. Максимчук О.В., Першина Т.А. Энергетический менеджмент. Волгоград, 2017.
2. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ (последняя редакция).
3. Приказ Минэкономразвития России от 17 февраля 2010 года № 61 «Об утверждении примерного перечня мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».
4. Добринова Т.В., Головин А.А., Шевякин А.С. Оценка эффективности энергопотребления на предприятии // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 8-2. С. 212–217.
5. Nurlin D.F. Energy efficiency challenges and solutions: lessons learned from global energy management programs // В сборнике: Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций. Сборник статей XII Международной научно-практической конференции. Пенза, 2024. С. 444–447.
6. Захаров А.С., Орлов А.К. Технология «Умный дом» как энергосберегающая технология будущего // Экономика и предпринимательство. 2018. № 5 (94). С. 1166–1169.
7. ГОСТ 32144-2013 – Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
8. СП 52.13330.2016. Свод правил. Естественное и искусственное освещение.
9. МГСН 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению».
10. Мищенко Е.С., Мозерова Л.А. От энергосберегающих технологий в строительстве – к технологиям минимального энергопотребления // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2016. № 1 (59). С. 213.
11. Golov R.S. Applied basics of building a system of energy management at a high-tech enterprise // Известия высоких технологий. 2022. № 2 (21). С. 3–12.
12. Lipatov M.S., Martynova A.O. The application of energy conservation technologies in lighting system of university buildings. The case of Higher School of Technology and Power Engineering // В книге: Dialogue of cultures. My world. Материалы XII международной студенческой научно-практической конференции. Материалы V межвузовской студенческой научно-практической конференции. Под редакцией А.О. Мартыновой. 2019. С. 33–35.
13. Главацкий И.А. Технология строительства энергосберегающих зданий // В сборнике: Строительство и архитектура – 2015. Материалы международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет», Союз строителей южного федерального округа, Ассоциация строителей Дона. 2015. С. 153–154.
14. Бутаков С.В., Кузнецов Б.Ф. Анализ применения кейс-технологии в образовательном процессе по дисциплине «энергосберегающие технологии в электроэнергетике» // В сборнике: Энергия Арктики – 2024. Сборник материалов международной научно-технической конференции. Архангельск, 2025. С. 160–163.
15. Федяев П.А., Шейшенов Ж.О. Энергетическая оценка выборочных направлений энергосбережения // Совместный выпуск Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева и Институт вычислительных технологий СО РАН Вычислительные технологии. 2013. Ч. 1. С. 299–302.

References

1. Maksimchuk O.V., Pershina T.A. Energy management. Volgograd, 2017.
2. Federal Law «On Energy Conservation and Improvement of Energy Efficiency and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation» dated 11/23/2009 N 261-FZ (latest edition).
3. Order No. 61 of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation dated February 17, 2010 "On Approval of an Approximate List of measures in the field of energy conservation and energy efficiency improvement".
4. Dobrinova T.V., Golovin A.A., Shevyakin A.S. Evaluation of energy consumption efficiency at an enterprise // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. 2022. No. 8–2. pp. 212–217.
5. Nurlin D.F. Energy efficiency challenges and solutions: lessons learned from global energy management programs // In the collection: Strategic development of the innovative potential of industries, complexes and organizations. Collection of

articles of the XII International Scientific and Practical Conference. Penza, 2024. pp. 444–447.
6. Zakharov A.S., Orlov A.K. "Smart Home" Technology as an Energy-Saving Technology of the Future // Economy and Entrepreneurship. 2018. No. 5 (94). pp. 1166–1169.
7. GOST 32144-2013 – Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems.
8. SP 52.13330.2016. A set of rules. Natural and artificial lighting.
9. MGSN 2.01-99. "Energy saving in buildings. Standards for thermal protection and heat and water supply".
10. Mishchenko E.S., Mozerova L.A. From energy–saving technologies in construction to technologies of minimal energy consumption // Issues of modern science and practice. V.I. Vernadsky University. 2016. No. 1 (59). p. 213.
11. Golov R.S. Applied basics of building a system of energy management at a high-tech enterprise // High-Tech News. 2022. No. 2 (21). pp. 3–12.
12. Lipatov M.S., Martynova A.O. The application of energy conservation technologies in lighting system of university buildings. The case of Higher School of Technology and Power engineering // In the book: Dialogue of cultures. My world. Materials of the XII International Student Scientific and practical conference. Materials of the V interuniversity student scientific and practical conference. Edited by A.O. Martynova. 2019. pp. 33–35.
13. Glavatsky I.A. Technology of construction of energy-saving buildings // In the collection: Construction and Architecture – 2015. materials of the international scientific and practical conference. Rostov State University of Construction, Union of Builders of the Southern Federal District, Association of Builders of the Don. 2015. pp. 153–154.
14. Butakov S.V., Kuznetsov B.F. Analysis of the application of case technology in the educational process in the discipline "energy-saving technologies in the electric power industry" // In the collection: Arctic Energy – 2024. proceedings of the international scientific and technical conference. Arkhangelsk, 2025. pp. 160–163.
15. Fedyaev P.A., Sheishenov Zh.O. Energy assessment of selected energy saving areas // Joint graduate of D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University and the Institute of Computing Technologies SB RAS Computing Technologies. 2013. Part 1. pp. 299–302.