

## АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИФТОВ

В статье представлены результаты реализации разработанного алгоритма для расчета энергопотребления лифтов, с целью определения класса их энергетической эффективности. Алгоритм основан на методах измерения реального энергопотребления лифтов, находящихся в эксплуатации или выпускающихся в обращение. Практическая реализация сформированного алгоритма расчета выполнена в программной среде Microsoft Visual Studio. Формируемый разработанный программой отчет соответствует требованиям действующей нормативной документации ГОСТ Р 56420.2-2015 «Лифты, эскалаторы и конвейеры пассажирские. Энергетические характеристики».

**Ключевые слова:** базовый цикл лифта, измерение потребляемой электроэнергии, привод лифта, производительность, класс энергетической эффективности, энергетические характеристики.

В настоящее время на территории Российской Федерации ежедневно для обеспечения перевозок пассажиров и грузов, как в жилом фонде, так и в административном секторе, находится в эксплуатации более 450 000 лифтов [1]. При исследовании качества функционирования устройств, непосредственно обеспечивающих работу лифтов в режиме нагрузки и ожидания, определено, что энергопотребление данных электротехнических комплексов может составлять от 10 % до 30 % от суммарной величины мощности потребляемой действующим зданием в целом [2, 3].

Почти 10 лет назад «Технический регламент о безопасности лифтов», утвержденный Постановлением Правительства РФ от 02.11.2009 г. № 782, определил требования для всех лифтов о проведении экспертной проверки в сроки, не превышающие 5 лет (для лифтов, изготовленных до 1992 года) и 7 лет (для лифтов, изготовленных после 1992 года), с выводом с последующей модернизацией или заменой лифтового оборудования, для приведения к новым стандартам ресурсосбережения [4]. С 2011 года на территории Таможенного союза действует «Технический регламент о безопасности лифтов», согласно которому все пассажирские лифты с 2012 года должны иметь в документации указание на класс своей энергетической эффективности [5]. Данные меры были обусловлены необходимостью приведения характеристик лифтов к новым стандартам безопасности и энергоэффективности.

Для достижения вышеуказанных задач в связи с актуальностью вопроса об обеспечении рационального и наиболее эффективного использования энергии, а также наличия доступного и просто-

го способа периодического контроля потребления энергии электрооборудованием находящихся в эксплуатации лифтов, и ее сравнения с паспортными значениями, был разработан и утвержден в 2012 году стандарт ГОСТ Р 54764-2011 «Лифты и эскалаторы. Энергетическая эффективность» [6].

В 2015 году в качестве развития данного направления ГОСТ Р 54764-2011 был преобразован в три новых документа, срок действия которых начался с 2016 года [7–9]:

1) ГОСТ Р 56420.1-2015 (ИСО 25745-1:2012) «Лифты, эскалаторы и конвейеры пассажирские. Энергетические характеристики. Часть 1. Измерение и контрольные проверки» — в части методов измерений и контрольных проверок;

2) ГОСТ Р 56420.2-2015 (ИСО 25745-2:2015) «Лифты, эскалаторы и конвейеры пассажирские. Энергетические характеристики. Часть 2. Расчет энергопотребления и классификация энергетической эффективности лифтов» — в части расчета энергопотребления и классификации энергетической эффективности лифтов;

3) ГОСТ Р 56420.3-2015 (ИСО 25745-3:2015) «Лифты, эскалаторы и конвейеры пассажирские. Энергетические характеристики. Расчет энергопотребления и классификация энергетической эффективности эскалаторов и пассажирских конвейеров» — в части расчета энергопотребления и классификации энергетической эффективности эскалаторов и пассажирских конвейеров.

Данные нормативные акты сформировали новую базу для применения специалистами организаций (изготовителям, энергоаудиторам, монтажным и сервисным организациям и компаниям), выпол-

няющим работы по определению энергетической эффективности электрооборудования, в том числе по периодическому контролю энергопотребления лифтов и при проведении контроля и прогнозирования потребления электроэнергии в здании в целом.

Согласно ГОСТ Р 56420.2-2015 в зависимости от величины потребляемой электрооборудованием лифта электрической энергии все подъемные машины, предназначенные для перемещения людей и (или) грузов с одного уровня на другой в кабине, можно разделить на 7 классов энергетической эффективности [8].

Необходимо отметить, что ГОСТ Р 56420.2-2015 был сформирован с учетом специфики работы национальных потребителей на основе международного стандарта ИСО 25745-2:2015 «Энергетическая эффективность лифтов, эскалаторов и пассажирских конвейеров. Часть 2. Расчет энергопотребления и классификация лифтов» (ISO 25745-2:2015 «Energy performance of lifts, escalators and moving walks — Part 2: Energy calculation and classification for lifts», MOD). Для этого в стандарт были включены дополнительные приложения, содержащие расчет определения класса энергоэффективности лифта на основе стандартных исходных данных, при выпуске его в обращение, а также примерную форму этикетки маркировки лифта с указанием класса энергоэффективности, оформляемую по результатам расчетов или испытаний.

Для принятия решения об энергоэффективности использования конкретной модели лифта в условиях реальных условий эксплуатации необходимо оперировать данным об общем потреблении электрической энергии электрооборудование лифта без учета вспомогательного оборудования (освещение в шахте лифта; обогрев и охлаждение кабины лифта, освещение в машинном помещении; обогрев, вентиляция и кондиционирование воздуха в машинном помещении; устройства бесперебойного питания лифта и т.п.).

В качестве источника для получения данных об энергопотреблении лифта могут быть применены методы непосредственного измерения энергопотребления во время имитации соответствующих режимов работы, описанные в ГОСТ Р 56420.1 или же оценка потребления энергии производится по

средством расчета или моделирования. Таким образом, существует возможность применения метода определения класса энергоэффективности как для лифтов, выпускающихся в обращение, так и находящихся в эксплуатации, в том числе к модернизированным.

В результате анализа исходных данных и проведения необходимых расчетов класс энергетической эффективности лифта устанавливается путем сравнения суточного энергопотребления, с пороговыми значениями, вычисленными по показателю уровня эффективности для режима движения и режима ожидания [8].

Основные исходные данные используемые для расчета представлены в табл. 1, среди которых непосредственно по результатам измерений (моделирования) определяются энергия, потребляемая в режиме движения в базовом (рис. 1, 2) и коротком цикле, а также мощность, используемая в режиме ожидания первого, второго и третьего уровня.

Базовый режим движения происходит путем перемещения пустой кабины лифта от нижнего этажа к последнему верхнему и обратно, при этом двери кабины лифта должны совершить два полных рабочих цикла открывания и закрывания.

При коротком цикле пустая кабина лифта должна на установившейся скорости движения пройти вверх и вниз расстояние не менее 25 % до половины всей высоты подъема с центром перемещения установленным в средней точке шахты.

Под режимами ожидания каждого из уровней предполагается состояние, при котором лифт остается неподвижным на этаже после поездки (сразу после поездки, через 5 минут и через 30 минут после поездки соответственно) [8].

Основными шагами для определения класса энергоэффективности лифта, находящегося в эксплуатации, являются расчеты следующих параметров:

1. Среднее расстояние поездки лифта.
2. Среднее энергопотребление на метр в режиме движения.
3. Энергопотребление при пуске/остановке.
4. Энергопотребление порожней кабины в режиме движения в среднем цикле.
5. Ежедневное электропотребление в режиме движения.

Таблица 1

Перечень данных для расчета класса энергоэффективности лифта

Паспортные данные	Данные измерений
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Номинальная грузоподъемность <math>Q</math>, (кг)</li> <li>2. Номинальная скорость <math>V</math>, (м/с)</li> <li>3. Высота подъема <math>h</math>, (м)</li> <li>4. Число этажей</li> <li>5. Тип лифта</li> <li>6. Уравновешивание</li> <li>7. Ускорение <math>a</math>, (м/с<sup>2</sup>)</li> <li>8. Средний рыбок <math>j</math>, (м/с<sup>3</sup>)</li> <li>9. Число включений за сутки (<math>n_d</math>)*</li> <li>10. Число остановок*</li> <li>11. Средняя поездка, (%)*</li> <li>12. Средняя загрузка кабины, (%)*</li> <li>13. Коэффициент загрузки <math>K_L</math>*</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Мощность в режиме ожидания первого уровня <math>P_{id1}</math> (Вт)</li> <li>2. Мощность в режиме ожидания второго уровня <math>P_{id2}</math> (Вт)</li> <li>3. Мощность в режиме ожидания третьего уровня <math>P_{id3}</math> (Вт)</li> <li>4. Энергопотребление в базовом цикле <math>E_{bc}</math> (Вт×ч)</li> <li>5. Энергопотребление в коротком цикле <math>E_{sc}</math> (Вт×ч)</li> <li>6. Время на открывание дверей <math>t_{dt}</math> (с)</li> <li>7. Расстояние короткого цикла <math>S_{sc}</math> (м)</li> </ol>

\* для лифтов, режим работы которых хорошо известен, данные величины могут быть согласованы заинтересованными в оценке годового энергопотребления сторонами [7].

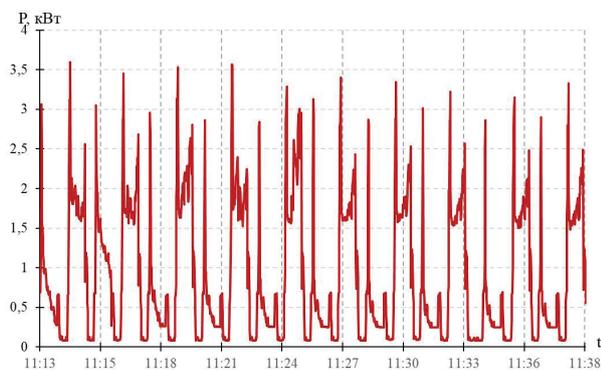


Рис. 1. График изменения суммарного потребления активной мощности лифтом при испытании в базовом цикле



Рис. 2. График изменения суммарного потребления электрической энергии лифтом при испытании в базовом цикле

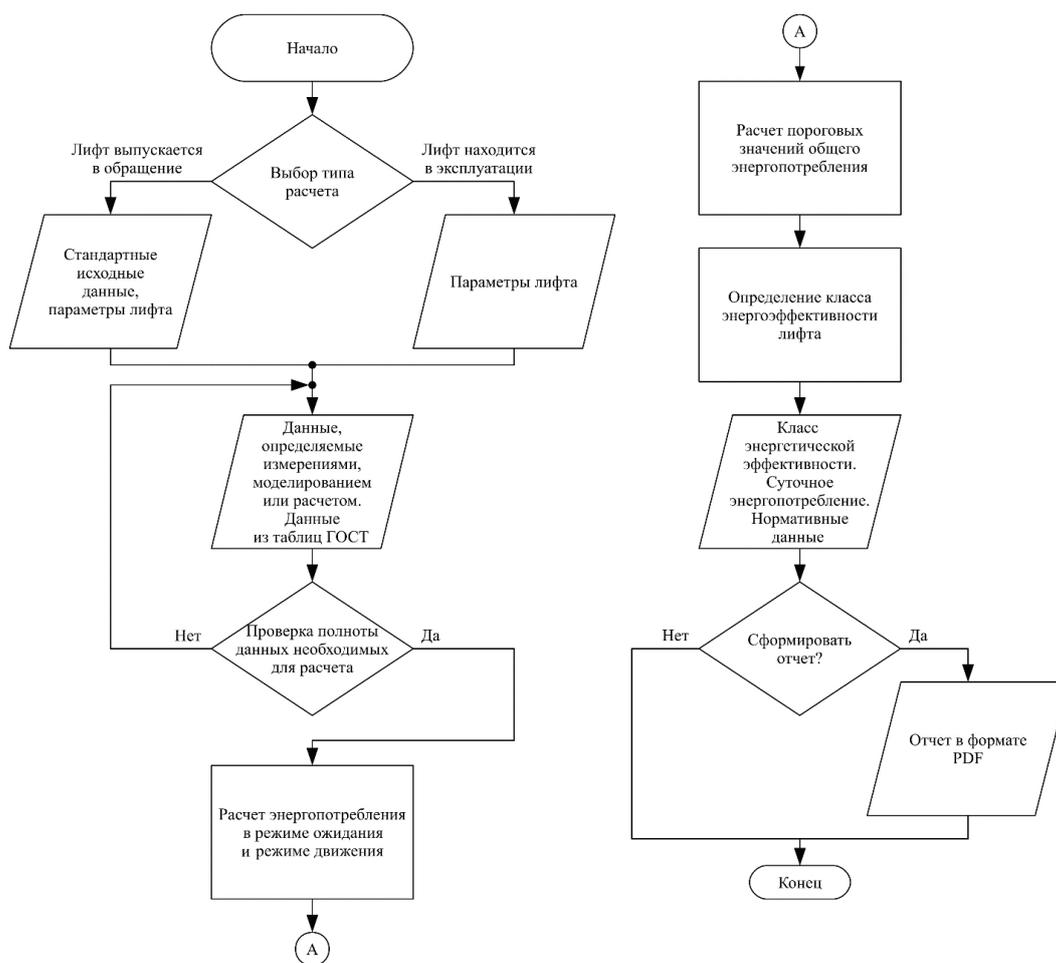


Рис. 3. Алгоритм расчета класса энергетической эффективности лифта

6. Время прохождения среднего расстояния.
7. Общее время нахождения лифта в режиме движения.
8. Время нахождения лифта в режиме ожидания.
9. Суточное энергопотребление в режиме ожидания.
10. Общее суточное энергопотребление.
11. Пороговые значения общего потребления за сутки
12. Общее энергопотребление за год.
13. Показатель уровня энергопотребления лифта в режиме движения.

14. Удельное энергопотребление в режиме движения в базовом цикле.

15. Определение класса энергоэффективности. На основе вышеуказанного порядка расчета сотрудниками кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ОмГТУ был сформирован алгоритм (рис. 3) и разработана программа «Elevator 1.0» для определения параметров энергетической эффективности лифтов, на основе данных, полученных согласно методике проведения измерений, определяемой ГОСТ Р 56420.1-2015 [7].

Программа «Elevator 1.0» реализована на объектно-ориентированном языке программирования C#

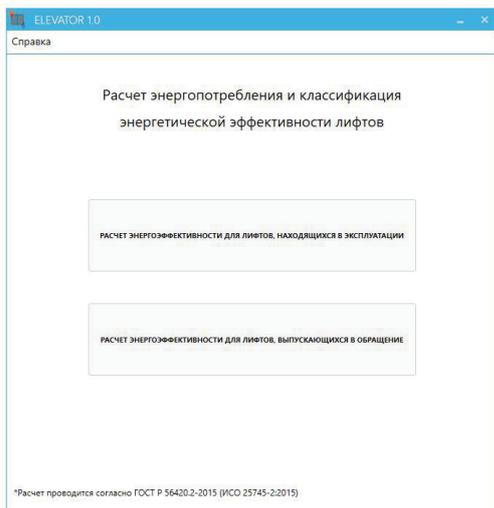


Рис. 4. Окно выбора способа расчета программы «Elevator 1.0»

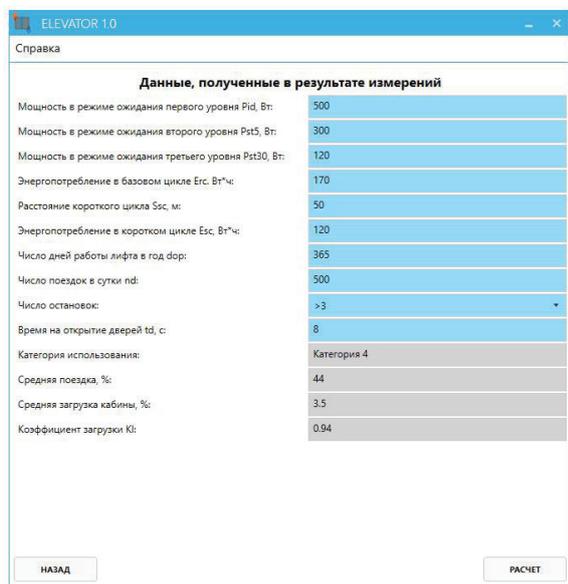


Рис. 5. Окно программы «Elevator 1.0» для ввода данных, полученных в результате прямых измерений

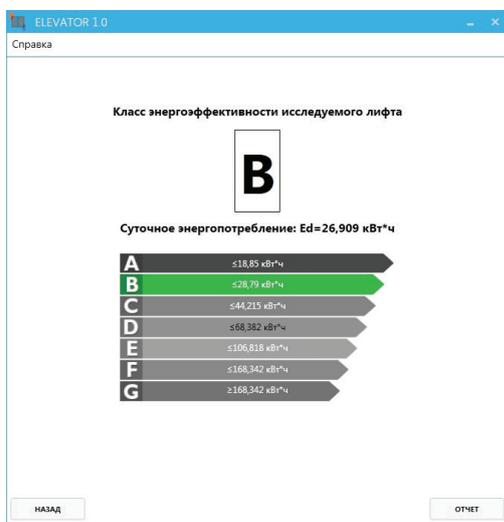


Рис. 6. Окно программы «Elevator 1.0» с результатами расчета класса энергоэффективности

Исходные данные для расчета класса энергоэффективности лифта типа ЛП-1021С

Номинальная грузоподъемность $Q$ , (кг)	1500
Номинальная скорость $V$ , (м/с)	2,5
Высота подъема $h$ , (м)	75
Число этажей	20
Тип лифта	С канатоведущим шкивом
Уравновешивание	50
Ускорение $a$ , (м/с <sup>2</sup> )	1
Средний рывок $j$ , (м/с <sup>3</sup> )	1,25
Число включения за сутки ( $n_d$ )	500
Число остановок	>3
Средняя поездка, (%)	44
Средняя загрузка кабины, (%)	3,5
Коэффициент загрузки $K_L$	0,94
Время на открывание дверей $t_{d'}$ , (с)	8
Мощность в режиме ожидания первого уровня $P_{id'}$ , (Вт)	500
Мощность в режиме ожидания второго уровня $P_{st5'}$ , (Вт)	300
Мощность в режиме ожидания третьего уровня $P_{st30'}$ , (Вт)	120
Энергопотребление в базовом цикле $E_{rc'}$ , (Вт×ч)	170
Расстояние короткого цикла $S_{sc'}$ , (м)	50
Энергопотребление в коротком цикле $E_{sc'}$ , (Вт×ч)	120

и интегрируема на оборудование с операционной системой Windows Vista и выше [10].

Принципиальная структура программы включает в себя окна выбора типа расчета (рис. 4), ввода информации, как идентификационной, так и полученной в ходе полевых измерений и данных таблиц ГОСТ (рис. 5), окна вывода категории энергоэффективности (рис. 6).

В завершение работы программа предоставляет возможность сформировать отчет с расчетом класса энергетической эффективности в формате PDF (с последующим его открытием) и этикетку маркировки лифта по классу энергоэффективности.

Ниже представлен пример расчета для лифта пассажирского серии ЛП-1021С, находящегося в эксплуатации, технические параметры для которого представлены в табл. 2.

$$S_{av} = S_{rc} \cdot S_{av\%} = 75 \cdot 0,44 = 33 \text{ (мм)}, \quad (1)$$

где  $S_{av}$  — среднее расстояние поездки лифта, м;  $S_{rc}$  — высота подъёма, м;  $S_{av\%}$  — средняя поездка.

$$E_{rm} = \frac{1}{2} \cdot \frac{E_{rc} - E_{sc}}{S_{rc} - S_{sc}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{170 - 120}{75 - 50} = 1 \left( \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}} \right), \quad (2)$$

где  $E_{rm}$  — среднее потребление на метр в режиме движения, Вт·ч/м;  $E_{rc}$  — энергопотребление в базовом цикле, Вт·ч;  $E_{sc}$  — энергопотребление в коротком цикле, Вт·ч;  $S_{sc}$  — расстояние короткого цикла, м.

$$E_{ssc} = \frac{1}{2} \cdot (E_{rc} - 2 \cdot E_{rm} \cdot S_{rc}) = \\ = \frac{1}{2} \cdot (170 - 2 \cdot 1 \cdot 75) = 10 \text{ (Вт} \cdot \text{ч)}, \quad (3)$$

где  $E_{ssc}$  — энергопотребление при пуске/остановке, Вт·ч.

$$E_{rav} = 2 \cdot E_{rm} \cdot S_{av} + 2 \cdot E_{ssc} = \\ = 2 \cdot 1 \cdot 33 + 2 \cdot 10 = 86 \text{ (Вт} \cdot \text{ч)}, \quad (4)$$

где  $E_{rav}$  — энергопотребление порожней кабины в режиме движения в среднем цикле, Вт·ч.

$$E_{rd} = \frac{K_L \cdot n_d \cdot E_{rav}}{2} = \\ = \frac{0,94 \cdot 500 \cdot 86}{2 \cdot 1000} = 20,21 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}, \quad (5)$$

где  $E_{rd}$  — ежедневное энергопотребление в режиме движения, кВт·ч;  $K_L$  — коэффициент загрузки;  $n_d$  — число включений за сутки.

$$t_{av} = \frac{S_{av}}{V} + \frac{a}{j} + t_d = \\ = \frac{33}{2,5} + \frac{2,5}{1} + \frac{1}{1,25} + 8 = 24,5 \text{ (с)}, \quad (6)$$

где  $t_{av}$  — время прохождения среднего цикла, с;  $V$  — номинальная скорость, м/с;  $a$  — ускорение, м/с<sup>2</sup>;  $j$  — средний рывок, м/с<sup>3</sup>;  $t_d$  — время на открытие дверей, с.

$$t_{rd} = \frac{n_d \cdot t_{av}}{3600} = \frac{500 \cdot 24,5}{3600} = 3,4 \text{ (ч)}, \quad (7)$$

где  $t_{rd}$  — общее время нахождения лифта в режиме движения, ч.

$$t_{nr} = 24 - t_{rd} = 24 - 3,4 = 20,6 \text{ (ч)}. \quad (8)$$

где  $t_{nr}$  — суточное энергопотребление в режиме ожидания, ч.

$$E_{nr} = t_{nr} \cdot \frac{P_{id} \cdot R_{id} + P_{st5} \cdot R_{st5} + P_{st30} \cdot R_{st30}}{100} = \\ = 20,6 \cdot \frac{500 \cdot 45 + 300 \cdot 19 + 120 \cdot 36}{100 \cdot 1000}$$

$$= 6,699 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}, \quad (9)$$

где  $E_{nr}$  — суточное энергопотребление в режиме ожидания, кВт·ч;  $P_{id}$ ,  $P_{st5}$ ,  $P_{st30}$  — мощность в режиме ожидания первого, второго и третьего уровня соответственно, Вт;  $R_{id}$  — временной интервал режима ожидания от остановки до 5 минут;  $R_{st5}$  — временной интервал режима ожидания от 5 до 30 минут;  $R_{st30}$  — временной интервал режима ожидания третьего уровня.

$$E_d = E_{rd} + E_{nr} = \\ = 20,21 + 6,699 = 26,909 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}, \quad (10)$$

где  $E_d$  — общее суточное энергопотребление, кВт·ч.

$$E_y = E_d \cdot d_{op} = 26,909 \cdot 365 = \\ = 9,822 \text{ (кВт} \cdot \text{ч} \cdot 365 \text{ сут/ч)}, \quad (11)$$

где  $E_y$  — общее энергопотребление за год, (кВт·ч·365 сут/г);  $d_{op}$  — число дней работы лифта в год.

$$E_{spc} = \frac{1000 \cdot K_L \cdot E_{rav}}{2 \cdot Q \cdot S_{av}} = \\ = \frac{1000 \cdot 0,94 \cdot 86}{2 \cdot 1500 \cdot 33} = 0,82 \left( \frac{\text{мВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг} \cdot \text{м}} \right), \quad (12)$$

где  $E_{spc}$  — показатель уровня энергопотребления лифта в режиме движения, мВт·ч/(кг·м);  $Q$  — номинальная грузоподъемность, кг.

$$E_{spr} = \frac{1000 \cdot E_{rc}}{2 \cdot Q \cdot S_{rc}} = \frac{1000 \cdot 170}{2 \cdot 1500 \cdot 75} = 0,76 \left( \frac{\text{мВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг} \cdot \text{м}} \right), \quad (13)$$

где  $E_{spr}$  — удельное энергопотребление лифта в режиме движения в базовом цикле, мВт·ч/(кг·м).

Для класса энергетической эффективности А:

$$E_d \leq 0,72 \cdot \frac{Q \cdot n_d \cdot S_{av}}{1000} + 50 \cdot t_{nr} = \\ = \left( 0,72 \cdot \frac{1500 \cdot 500 \cdot 33}{1000} + 50 \cdot 20,6 \right) = 18850 \text{ (Вт} \cdot \text{ч)}, \quad (14)$$

$$E_d \leq 18,85 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}.$$

Для класса энергетической эффективности В:

$$E_d \leq 1,08 \cdot \frac{Q \cdot n_d \cdot S_{av}}{1000} + 100 \cdot t_{nr} = \\ = \left( 1,08 \cdot \frac{1500 \cdot 500 \cdot 33}{1000} + 100 \cdot 20,6 \right) =$$

$$= 28790 \text{ (Вт} \cdot \text{ч)}$$

$$E_d \leq 28,79 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}.$$

Полученное в ходе расчета значение суточного энергопотребления исследуемого лифта  $E_d$  (26,91 кВт·ч) лежит в промежутке между нормами классов А (18,85 кВт·ч) и В (28,79 кВт·ч), следовательно, лифт принадлежит классу энергоэффективности В.

Таким образом, сформированный и реализованный в программе «Elevator 1.0» алгоритм позволяет

сократить время на расчет класса энергетической эффективности лифта, а сама программа — проведи и обосновать выбор оптимальных для конкретных условий эксплуатаций параметров лифтов, с учетом обеспечения их эффективного и безопасного функционирования как системы в целом.

#### Библиографический список

1. Чернышов С. А. Требование к энергоэффективности лифтов и энергосберегающие технологии в мировом и отечественном лифтостроении // Реформа ЖКХ. 2010. № 6. С. 52–54.
2. Селик Ф. Потребление энергии малоиспользуемыми лифтами в режиме ожидания // Лифт. 2010. № 1. С. 47.
3. Коваль А. С., Артеменко А. И. К вопросу энергосбережения в электроприводе пассажирских лифтов с регулируемой номинальной скоростью движения кабины лифта // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. № 4 (61). С. 49–55.
4. Об утверждении технического регламента о безопасности лифтов: постановление Правительства РФ от 2 октября 2009 г., № 782. Доступ из информ.-правовой системы «Законодательство России».
5. О принятии технического регламента Таможенного союза «Безопасность лифтов»: решение Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г., № 824. 22 с.
6. ГОСТ Р 54764–2011. Лифты и эскалаторы. Энергетическая эффективность. Введ. 2012–07–01. М.: Стандартинформ, 2011. 17 с.
7. ГОСТ Р 56420.1-2015 (ИСО 25745-1:2012). Лифты, эскалаторы и конвейеры пассажирские. Энергетические характеристики. Ч. 1. Измерение и контрольные проверки. Введ. 2016–01–01. М.: Стандартинформ, 2015. 16 с.
8. ГОСТ Р 56420.2-2015 (ИСО 25745-2:2015). Лифты, эскалаторы и конвейеры пассажирские. Энергетические характеристики. Ч. 2. Расчет энергопотребления и классификация

энергетической эффективности лифтов. Введ. 2016–01–01. М.: Стандартинформ, 2015. 20 с.

9. ГОСТ Р 56420.3-2015 (ИСО 25745-3:2015). Лифты, эскалаторы и конвейеры пассажирские. Энергетические характеристики. Расчет энергопотребления и классификация энергетической эффективности эскалаторов и пассажирских конвейеров. Введ. 2016–01–01. М.: Стандартинформ, 2015. 20 с.

10. Заявка 2018666879 Российская Федерация. Elevator 1.0 / Дед А. В., Ткаченко В. А.; № 2018663940; заявл. 28.11.18; опубл. 21.12.18.

**ДЕД Александр Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

SPIN-код: 5237-6697

AuthorID (РИНЦ): 512774

ORCID: 0000-0001-5625-8869

Адрес для переписки: ded\_av@mail.ru

**ТКАЧЕНКО Всеволод Андреевич**, аспирант гр. ЭТ-191 кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

SPIN-код: 5200-0062

AuthorID (РИНЦ): 939477

ORCID: 0000-0002-7321-1162

AuthorID (SCOPUS): 57210291005

ResearcherID: W-3652-2019

#### Для цитирования

Дед А. В., Ткаченко В. А. Алгоритмическая реализация расчета энергопотребления и определения класса энергетической эффективности лифтов // Омский научный вестник. 2020. № 4 (172). С. 26–31. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-172-26-31.

Статья поступила в редакцию 15.05.2020 г.

© А. В. Дед, В. А. Ткаченко