

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.316.1

DOI 10.21685/2307-5538-2020-2-1

С. Ш. Таваров, Г. Х. Маджидов

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ г. ДУШАНБЕ

S. Sh. Tavarov, G. Kh. Madzhidov

ENHANCING THE RELIABILITY OF ELECTRICITY SUPPLY OF THE CITY ELECTRIC NETWORK OF DUSHANBE

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Рассматривается городская электрическая сеть г. Душанбе на предмет определения повреждаемости кабельных и воздушных линий, а также трансформаторных подстанций напряжением 6–10/0,4 кВ. На основании собранных материалов аварийных отключений по месяцам получены распределения перечисленных выше объектов 2017–2018 гг. **Материалы и методы.** По статистическим данным аварийных отключений для осенне-зимних и зимне-весенних периодов 2017–2018 гг. с целью выявления влияния получены зависимости повреждений элементов городской электрической сети от температуры воздуха и количества осадков. Предлагается уравнение прогнозирования электропотребления для г. Душанбе, а также возможность применения его для других городов Республики Таджикистан с учетом факторных условий местности. **Результаты и выводы.** На основе полученного уравнения предлагается алгоритм контроля электропотребления с внесением данного алгоритма в функцию умных средств учета электроэнергии с целью поддержания режимных параметров распределительной сети, позволяющей повысить надежность электроснабжения как г. Душанбе, так и всех городов Республики Таджикистан.

A b s t r a c t. Background. The paper considers the city electric network of Dushanbe for determining the damage to cable and overhead lines, as well as transformer substations of 6–10/0.4 kV. Based on the collected materials of emergency shutdowns by months, the obtained distributions of the above objects in 2017–2018 are obtained. **Materials and methods.** According to the statistics of emergency outages for the autumn-winter and winter-spring periods of 2017–2018, in order to identify the effect, the dependences of damage to the elements of the urban electric network on air temperature and rainfall were obtained. An equation is proposed for predicting power consumption for the city of Dushanbe, as well as the possibility of applying it to other cities of the Republic of Tajikistan, taking into account the factorial conditions of the terrain. **Results and conclusions.** Based on the obtained equation, an algorithm for monitoring power consumption is proposed with the introduction of this algorithm into the function of smart means of electricity metering in order to maintain the operating parameters of the distribution network, which can increase the reliability of power supply in both Dushanbe and all cities of the Republic of Tajikistan.

К л ю ч е в ы е с л о в а: электропотребление, надежность электроснабжения, городские электрические сети.

К e y w o r d s: power consumption, reliability of power supply, urban electric networks.

Эффективность любых электрических сетей, в том числе городских, обеспечивается поддержанием допустимых удельных нагрузок, как в часы максимума, так и в течение всего дня и месяца. Превышение же удельных нагрузок от нормативных приводит к ухудшению надежности системы электроснабжения и качества электроэнергии [1–17].

Для повышения надежности сетей необходимо выявить факторы, влияющие на повреждения основных элементов системы электроснабжения, с целью предложения метода и способа повышения надежности электроснабжения городской электрической сети на примере г. Душанбе.

Во многом появление повреждений связано с ростом электропотребления, которое зависит от факторов климато-метеорологических условий местности [5, 6] и обеспеченности потребителей не только электроэнергией, но также другими энергиями, такими как природный газ, отопление и теплоснабжение.

Надо отметить то, что потребители г. Душанбе так же, как и вся Республика Таджикистан, лишены иных источников и вся нагрузка приходится на электричество.

Для оценки надежности электроснабжения городской электрической сети г. Душанбе, по данным статистики аварийных отключений за периоды 2017–2018 гг., были построены зависимости и проведен анализ с целью выявления влияния вышеприведенного фактора на количество повреждения кабельных, воздушных линий и трансформаторных подстанций напряжением 6–10/0,4 кВ.

Надо отметить, что самым холодным месяцем для г. Душанбе является январь. Средняя температура воздуха зимних месяцев колеблется от 2 до 4 °С. В этот период преобладает в основном пасмурная и дождливая погода, обусловленная циклонической деятельностью. Как правило, прохождение циклона завершается холодным вторжением, резким понижением температуры воздуха и переходом дождя в мокрый снег. При усилении антициклонической деятельности на Душанбе распространяется холодный воздух юго-западной периферии сибирского антициклона, что вызывает значительные похолодания. В аномально холодные годы температура воздуха может опускаться до –27 °С.

Однако наибольшую повторяемость имеют зимы с минимальной температурой 5... –10 °С. Днем, как правило, температура воздуха положительная и составляет 7–10 °С тепла. В наиболее теплые зимы максимальная температура воздуха может достигать в январе 22 °С тепла. Весна в Душанбе теплая и дождливая. Циклоническая деятельность весной протекает особенно интенсивно и сопровождается выпадением обильных осадков с грозами и градом. В марте и апреле выпадает наибольшее количество осадков (до 135 мм в месяц). Самый высокий суточный максимум приходится на весну и превышает 80 мм.

По статистике аварийных отключений КЛ, ВЛ и ТП напряжением 6–10 кВ были построены зависимости, представленные на рис. 1, 2.

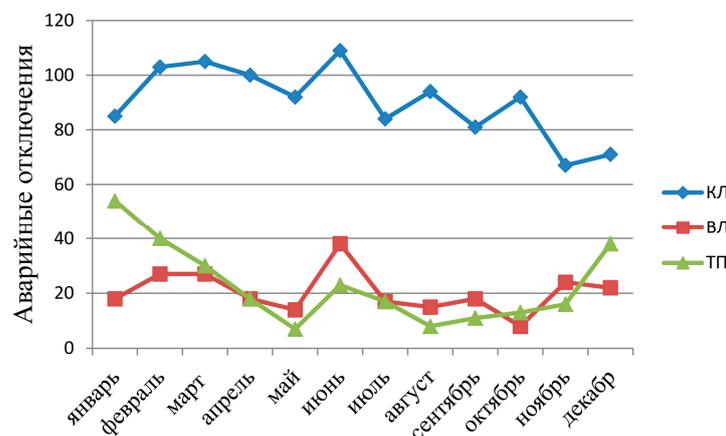


Рис. 1. Статистика аварийных отключений по месяцам за 2017 г.

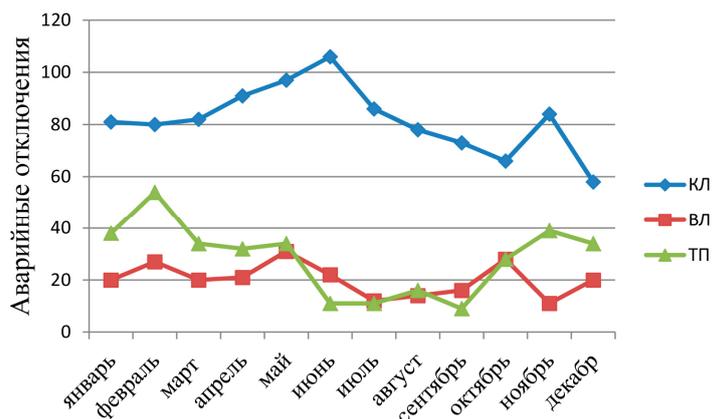


Рис. 2. Статистика аварийных отключений по месяцам за 2018 г.

Согласно рис. 1 и 2 наиболее повреждаемыми элементами в осенне-зимний и зимне-весенний периоды являются кабельные линии электропередачи и трансформаторные подстанции. Это связано, с нашей точки зрения, с возрастанием электропотребления в осенне-зимний период из-за отсутствия иных источников энергии, кроме электрической, и увеличением осадков в зимне-весенний период, вызванным дождями и таянием снега.

Это приводит к попаданию влаги в места соединения контактов, что способствует появлению повреждений муфт, установленных на кабельных линиях.

Для оценки влияния среднемесячных температур и количества осадков были построены распределения повреждений, приведенные на рис. 3 и 4.

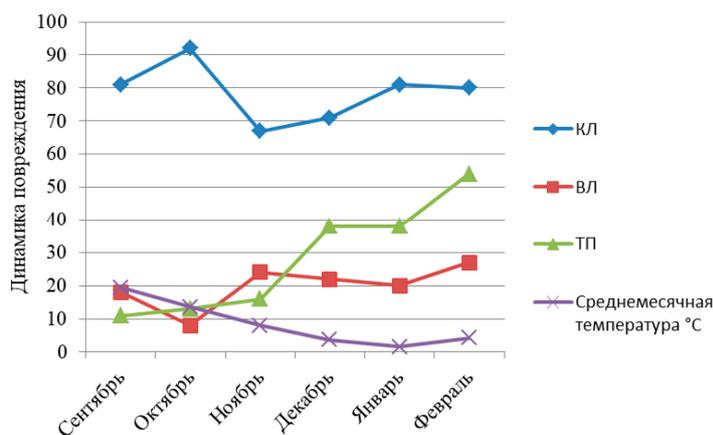


Рис. 3. Влияние среднемесячной температуры воздуха на динамику повреждений в осенне-зимний период 2017–2018 гг.

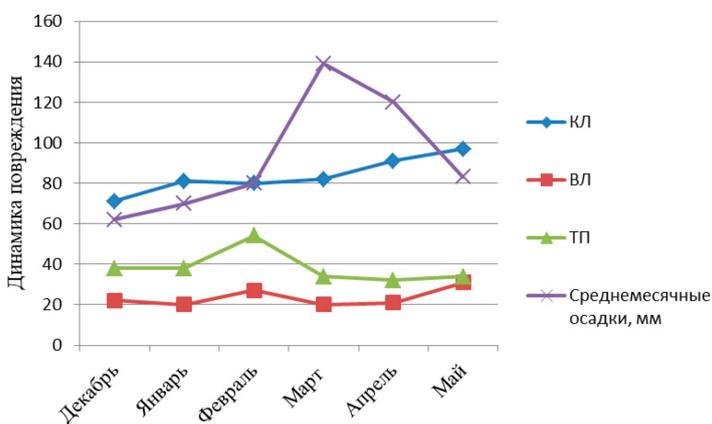


Рис. 4. Влияние среднемесячных осадков на динамику повреждений в зимне-весенний период 2017–2018 гг.

Из полученной зависимости рис. 3 видно, что в осенне-зимний период при понижении среднемесячной температуры количество повреждений рассматриваемых элементов городской электрической сети, в особенности в кабельных линиях и трансформаторных подстанциях, возрастает. Как было отмечено выше, главным фактором выступает увеличение электропотребления городскими потребителями, приводящего к перегреву жил кабельных линий и обмоток трансформатора и дальнейшему пробою изоляции.

С целью регулирования режимных параметров городских электрических сетей оперативно-диспетчерской службой в данной работе предлагается метод прогнозирования электропотребления для бытовых потребителей с учетом факторных условий на основе уравнения коэффициента времени максимума нагрузок – $\alpha_{в.м.н}$, полученного для г. Душанбе и различных городов РТ [18, 19] и имеющего функциональную зависимость

$$\alpha_{в.м.н} = f(x_i), \quad (1)$$

$$x_i = x_1; x_2; x_3; x_4; x_5, \quad (2)$$

где x_1 – температура; x_2 – особенности конструкции домов; x_3 – разность высот над уровнем моря расположения городов; x_4 – влажность воздуха; x_5 – скорость ветра.

Ниже приведем уравнение прогнозирования электропотребления с учетом факторных условий местности г. Душанбе и РТ в целом в часы максимума нагрузок и в течение всего дня:

$$W_{\alpha_{в.м.н}+1} = W_{сут. норм.} \alpha_{в.м.н} (1 - \alpha_{в.м.н}), \quad (3)$$

где $W_{сут. норм.} = P_{разр.} t_{в.м.сут.}$ – суточная норма расхода электроэнергии, кВт·ч; $P_{разр.}$ – разрешенная мощность, выдаваемая электроснабжающей организацией (4–5 кВт); $t_{в.м.сут.}$ – время максимума нагрузок в течение суток, ч; $\alpha_{в.м.н}$ – коэффициент времени максимума нагрузок.

Полученное уравнение позволит прогнозировать, планировать и контролировать предлагаемые нормы электропотребления [18, 19] без нарушения установленных норм удельных нагрузок и тем самым повысить надежность электроснабжения и качество электроэнергии.

Для сопоставления с экспериментальными значениями выполним расчет, используя приведенное уравнение (3) для бытовых потребителей г. Душанбе, учитывая территориальные и климато-метеорологические условия. Хотим отметить, что данное уравнение (3) позволяет прогнозировать, планировать и контролировать электропотребление и для других бытовых потребителей городов Республики Таджикистан.

Для города Душанбе (столица Республики Таджикистан, расположенная на высоте 706 м над уровнем море):

$$W_{\alpha_{в.м.н}} = 96 \cdot 0,145 \cdot (1 - 0,145) = 11,902 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$W_{\alpha_{ост.в теч. дня}} = 96 \cdot 0,854 \cdot (1 - 0,854) = 11,97 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\sum W_{\alpha_{в теч. дня}} = 11,902 + 11,97 = 23,87 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

По данным учета электропотребления за предыдущий период на рис. 5 приведены результаты сравнения расчетных (уравнение (3)) и экспериментальных значений.

Согласно рис. 5 предлагаемое уравнение (3) прогнозирования электропотребления является адекватным.

С применением современных умных учетов электроэнергии возможно контролировать состояние электрических сетей и в нашем случае, для г. Душанбе и городов Республики Таджикистан [18, 19].

Таким образом, предлагаем следующий алгоритм контроля норм электропотребления как в часы максимума нагрузок, так и в течение всего дня и месяца для г. Душанбе и городов РТ с внесением этого алгоритма в функцию умных учетов электроэнергии (рис. 6).



Рис. 5. Сравнение данных, полученных расчетным и экспериментальным путем для бытовых потребителей, питающихся от ТП-739 г. Душанбе

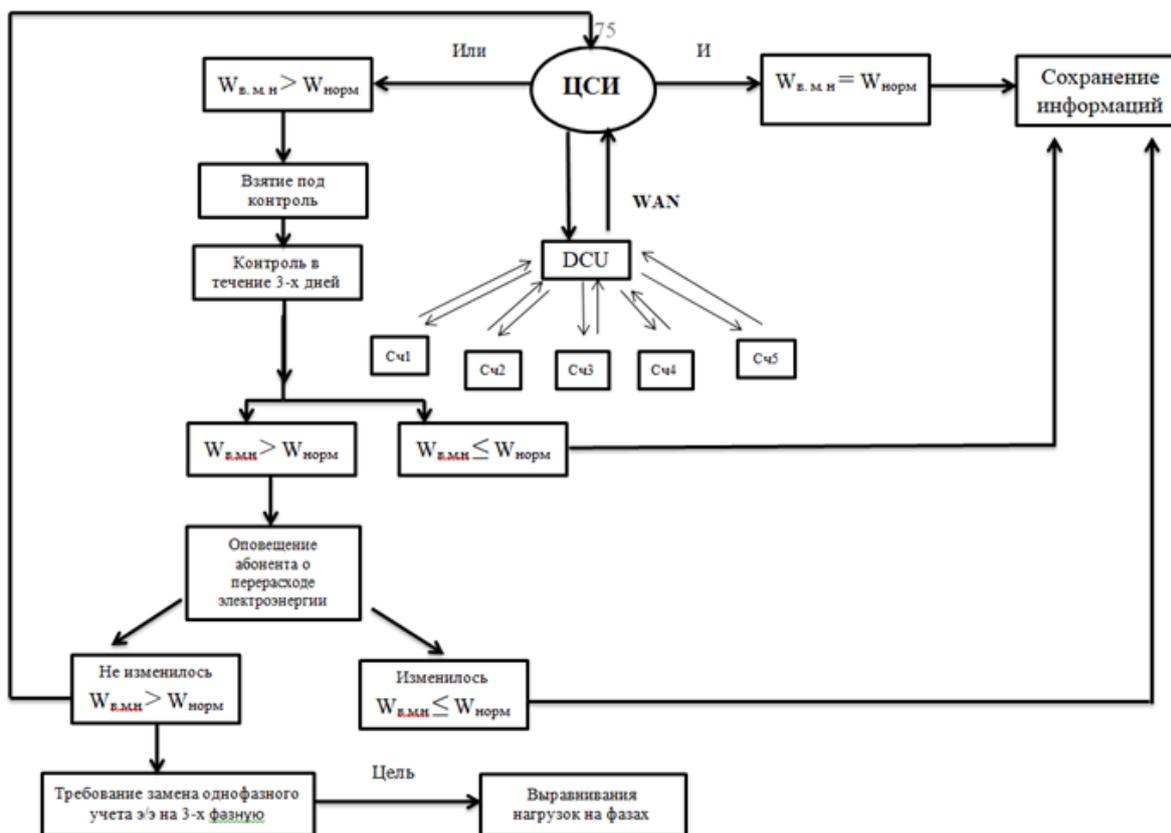


Рис. 6. Алгоритм контроля норм электропотребления

Принцип работы алгоритма следующий. Информация от учетов электроэнергии через провода связи RS-485 будет передаваться в Data Center Union (DCU). В свою очередь для передачи информации с DCU в центр сбора информации (ЦСИ) в DCU устанавливается сим-карта с подключенным Интернетом. Передача информации с DCU в центр сбора информации (ЦСИ) передается по беспроводной сети WAN, для удобства контроля ЦСИ предлагается размещать в центральной диспетчерской службе ОАХК «Барки Точик» для контроля нагрузки в электрической системе и в оперативно-диспетчерских службах районных и городских электрических сетях Республики Таджикистан.

**Условия потребления и контроля норм электропотребления
бытовых потребителей городов Республики Таджикистан**

При соблюдении условий потребления электроэнергии в часы максимума нагрузок и в течение дня, месяца:

$$W_{\alpha_{в.м.н}+1} = W_{норм},$$

где $W_{\alpha_{в.м.н}+1}$ – прогнозирование электропотребления, кВт·ч; $W_{норм}$ – нормы электропотребления кВт·ч [18, 19].

Полученная информация автоматически передается на сохранение. Тогда как если $W_{\alpha_{в.м.н}+1} > W_{норм}$, информация о данных потребителей берется под контроль и в течение трех дней за данным потребителем, в особенности в часы максимума нагрузок, ведется контроль данных электропотребления.

Обусловлено это тем, что именно в это время потребляется большая часть электроэнергии, а также наблюдаются основные перегрузки, данные которых также сохраняются в ЦСИ. Если в течение трех дней условия $W_{\alpha_{в.м.н}+1} > W_{норм}$ не переходят к условию $W_{\alpha_{в.м.н}+1} \leq W_{норм}$, абонента оповещают о перерасходе электропотребления. Данное оповещение, по нашему мнению, должно стимулировать как потребителей электроэнергии, так и контроль надежности системы электроснабжения.

После оповещения на следующий день вновь ведется контроль электропотребления, особенно в часы максимума нагрузок. В случае выполнения условия $W_{\alpha_{в.м.н}+1} \leq W_{норм}$ информация передается на сохранение.

Однако в случае дальнейшего несоблюдения норм электропотребления абоненту выписывается рекомендация о замене однофазного счетчика электроэнергии на трехфазный. Данная рекомендация делается с точки зрения повышения надежности электроснабжения, качества электроэнергии и уменьшения недоотпуска полезной мощности.

На основе предложенного алгоритма контроля норм электропотребления (см. рис. 6) было предложено схематическое исполнение приема-передачи информации от умных учетов электроэнергии к «Data Center Union» и от «Data Center Union» в центр сбора информации ЦСИ по каналу WAN, приведенное на рис. 7.

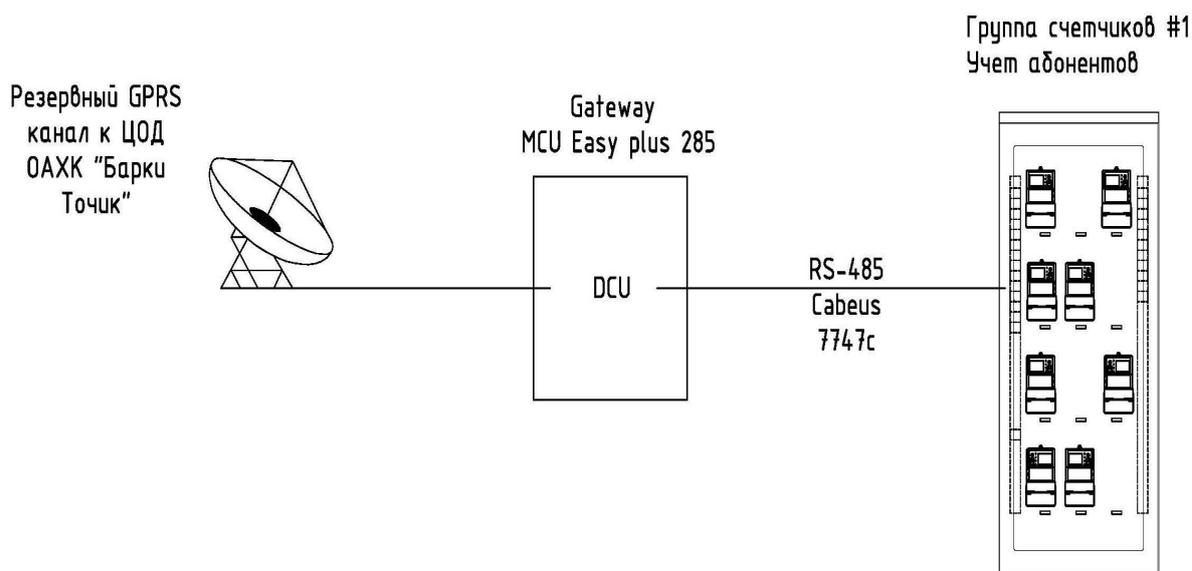


Рис. 7. Схема приема-передачи информации от абонента в ЦСИ

Предложенная «Схема приема-передачи информации от абонента в ЦСИ», приведенная на рис. 7, рекомендована электроснабжающей организацией ОАХК «Барки Таджики» для внедрения в программу замены существующих учетов электроэнергии у бытовых потребителей на умные учеты.

Заклучение

1. По данным статистики аварийных отключений за периоды 2017–2018 гг. были построены зависимости и проведен анализ с целью выявления влияния фактора на количество повреждений кабельных, воздушных линий и трансформаторных подстанций напряжением 6–10/0,4 кВ городской электрической сети г. Душанбе.

2. Для снижения повреждений в городских электрических сетях г. Душанбе и городов Республики Таджикистан и повышения надежности электроснабжения предложено уравнение прогнозирования электропотребления г. Душанбе и для городов Республики Таджикистан.

3. Результаты, полученные расчетным путем с использованием предложенного уравнения, сопоставлены с экспериментальными данными и показали высокую сходимость.

4. На основе данного уравнения прогнозирования предложен алгоритм контроля электропотребления с внесением его в функциональность умных средств учета электроэнергии в программу замены средств учета электроэнергии.

Библиографический список

1. Репкина, Н. Г. Исследование факторов, влияющих на точность прогнозирования суточного электропотребления / Н. Г. Репкина // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2015. – № 2. – С. 41–45.
2. Карандеев, Д. Ю. Эффективная температура как фактор, влияющий на электропотребления городов / Д. Ю. Карандеев // Современная техника и технологии. – 2015. – № 2. – URL: <http://technology.snauka.ru/2015/02/5728> (дата обращения: 07.02.2019).
3. Зубакин, В. А. Методы и модели анализа волатильности потребления электроэнергии с учетом цикличности и стохастичности / В. А. Зубакин, Н. М. Ковшов // Стратегии Бизнеса (Анализ, прогноз, управление). – 2015. – № 7 (15). – С. 6–12.
4. Коморник, С. Требования к системам прогнозирования энергопотребления / С. Коморник, Е. Каличек // Энерго. Рынок. – 2008. – № 3. – С. 5–7.
5. Макоклюев, Б. И. Моделирование электрических нагрузок электроэнергетических систем / Б. И. Макоклюев, В. Костиков // Электричество. – 1994. – № 10. – С. 6–18.
6. Макоклюев, Б. И. Влияние колебаний метеорологических факторов на электропотребление энергообъединений / Б. И. Макоклюев, В. Павликов, А. Владимиров // Энергетик. – № 6. – 2003. – С. 11–23.
7. СП 256. 1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий, правила проектирования и монтажа. – URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293751/4293751598.htm>
8. РМ-2696-01. Временная инструкция по расчету электрических нагрузок жилых зданий. – Москва : Изд-во ГУП «НИИЦ», 2001. – 22 с.
9. Yahiaet, Z. An optimal load schedule of household appliances with leveled load profile and consumer's preferences / Z. Yahiaet, A. Pradhan // International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE). – Cape Town, South Africa, 2018. – P. 1–7. – URL: <http://dx.doi.org/10.23919/DUE.2018.8384382>
10. Yahiaet, Z. A binary integer programming model for optimal load scheduling of household appliances with consumer's preferences / Z. Yahiaet, P. Kholopane // International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE). – Cape Town, South Africa, 2018. – P. 1–8. – URL: <http://dx.doi.org/10.23919/DUE.2018.8384381>
11. Grigoras, G. Processing of smart meters data for peak load estimation of consumers / G. Grigoras, F. Scarlatache // 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE). – Bucharest, Romania, 2015. – P. 864–867.
12. Teeraratkul, T. Shape-Based Approach to Household Electric Load Curve Clustering and Prediction / T. Teeraratkul, D. O'Neill, S. Lall // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2017. – Vol. 9 (5). – P. 5196–5206.
13. Singh, S. Smart Load Node for Nonsmart Load Under Smart Grid Paradigm: A New Home Energy Management System / S. Singh, A. Roy, M. P. Selvan // IEEE Consumer Electronics Magazine. – 2019. – Vol. 8 (2). – P. 22–27.
14. Swalehe, H. Intelligent Algorithm for Optimal Load Management in Smart Home Appliance Scheduling in Distribution System / H. Swalehe, B. Marungsri // International Electrical Engineering Congress (IEECON). – Krabi, Thailand, 2018. – P. 1–4. – URL: <http://dx.doi.org/10.1109/IEECON.2018.8712166>
15. Mohan, N. Demand Side Management for a Household Using Resource Scheduling / N. Mohan, T. P. Imthias Ahamed, J. M. Johnson // International CET Conference on Control, Communication, and Computing (IC4). – Thiruvananthapuram, India, 2018. – P. 1–5.
16. Garulli, A. Models and Techniques for Electric Load Forecasting in the Presence of Demand Response / A. Garulli, S. Paoletti, A. Vicino // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2014. – Vol. 23 (3). – P. 1087–1097.

17. Sidorov, A. I. Ensuring the Efficiency of Distribution Networks C. Dushanbe and Republic of Tajikistan / A. I. Sidorov, O. A. Khanzhina, S. S. Tavarov // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). – Vladivostok, Russia, 2019. – P. 1–4.
18. Сидоров, А. И. Нормирование электропотребления Республики Таджикистан с учетом климатических особенностей региона / А. И. Сидоров, С. Ш. Таваров // Энергия единой сети. – 2019. – № 3 (45). – С. 70–75. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42391848>
19. Таваров, С. Ш. Удельное электропотребление бытового сектора с учетом температуры окружающего воздуха и территориального расположения Республики Таджикистан / С. Ш. Таваров // Промышленная энергетика. – 2019. – Т. 7, № 7. – С. 19–22.

References

1. Repkina N. G. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektromekhanika* [News of higher educational institutions. Electromechanics]. 2015, no. 2, pp. 41–45. [In Russian]
2. Karandeev D. Yu. *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii* [Modern equipment and technologies]. 2015, no. 2. Available at: <http://technology.snauka.ru/2015/02/5728> (accessed Febr. 07, 2019). [In Russian]
3. Zubakin V. A., Kovshov N. M. *Strategii Biznesa (Analiz, prognoz, upravlenie)* [Business strategies (Analysis, forecast, management)]. 2015, no. 7 (15), pp. 6–12. [In Russian]
4. Komornik S., Kalichets E. *Energo. Rynok* [Energ. Market]. 2008, no. 3, pp. 5–7. [In Russian]
5. Makoklyuev B. I., Kostikov V. *Elektrichestvo* [Electricity]. 1994, no. 10, pp. 6–18. [In Russian]
6. Makoklyuev B. I., Pavlikov V., Vladimirov A. *Energetik* [Powerman]. 2003, no. 6, pp. 11–23. [In Russian]
7. SP 256. 1325800.2016. *Elektrostanovki zhilykh i obshchestvennykh zdaniy, pravila proektirovaniya i montazha* [SP 256. 1325800.2016. Electrical installations of residential and public buildings, design and installation rules]. Available at: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293751/4293751598.htm> [In Russian]
8. RM-2696-01. *Vremennaya instruktsiya po raschetu elektricheskikh nagruzok zhilykh zdaniy* [RM-2696-01. Temporary instructions for calculating electrical loads of residential buildings]. Moscow: Izd-vo GUP «NIATs», 2001, 22 p. [In Russian]
9. Yahiaet Z., Pradhan A. *International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE)*. Cape Town, South Africa, 2018, pp. 1–7. Available at: <http://dx.doi.org/10.23919/DUE.2018.8384382>
10. Yahiaet Z., Kholopane P. *International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE)*. Cape Town, South Africa, 2018, pp. 1–8. Available at: <http://dx.doi.org/10.23919/DUE.2018.8384381>
11. Grigoras G., Scarlatache F. *9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*. Bucharest, Romania, 2015, pp. 864–867.
12. Teeraratkul T., O'Neill D., Lall S. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2017, vol. 9 (5), pp. 5196–5206.
13. Singh S., Roy A., Selvan M. P. *IEEE Consumer Electronics Magazine*. 2019, vol. 8 (2), pp. 22–27.
14. Swalehe H., Marungsri B. *International Electrical Engineering Congress (iEE-CON)*. Krabi, Thailand, 2018, pp. 1–4. Available at: <http://dx.doi.org/10.1109/IEECON.2018.8712166>
15. Mohan N., Imthias Ahamed T. P., Johnson J. M. *International CET Conference on Control, Communication, and Computing (IC4)*. Thiruvananthapuram, India, 2018, pp. 1–5.
16. Garulli A., Paoletti S., Vicino A. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2014, vol. 23 (3), pp. 1087–1097.
17. Sidorov A. I., Khanzhina O. A., Tavarov S. S. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1–4.
18. Sidorov A. I., Tavarov S. Sh. *Energiya edinoi seti* [The energy of a single network]. 2019, no. 3 (45), pp. 70–75. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42391848> [In Russian]
19. Tavarov S. Sh. *Promyshlennaya energetika* [Industrial power engineering]. 2019, vol. 7, no. 7, pp. 19–22. [In Russian]

Таваров Саиджон Ширалиевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра безопасности жизнедеятельности,
Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)
(Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76)
E-mail: tabarovsaid@mail.ru

Tavarov Saidzhon Shiralievich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of life safety,
South Ural State University
(National Research University)
(76 Lenin avenue, Chelyabinsk, Russia)

Маджидов Гафуржон Хушбахтович
ассистент,
кафедра электроснабжения,
Таджикский технический университет
имени академика М. С. Осими
(Таджикистан, г. Душанбе,
ул. Академиков Раджабовых, 10)
E-mail: madjidov-70@mail.ru

Madzhidov Gafurzhon Khushbaktovich
assistant,
sub-department of power supply,
Tajik Technical University
named after academician M. S. Osimi
(10 Akademikov Radzhabovych street,
Dushanbe, Tajikistan)

Образец цитирования:

Таваров, С. Ш. Повышение надежности электроснабжения городской электрической сети г. Душанбе / С. Ш. Таваров, Г. Х. Маджидов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 2 (32). – С. 5–13. – DOI 10.21685/2307-5538-2020-2-1.