

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (05.13.06)

УДК 519.816

DOI: 10.24160/1993-6982-2020-5-121-125

## Оптимизация ценовой категории потребления электроэнергии промышленного предприятия

Н.В. Устюгов, О.М. Проталинский

Цель исследования — построение математической модели потребления электрической энергии и мощности для шести ценовых категорий в организационно-технической системе и разработка на их основе алгоритма, позволяющего потребителю выбрать наиболее выгодную стоимость электроэнергии.

Анализ системы как целостного комплекса взаимодействующих объектов велся с точки зрения системного подхода. Для изучения научных данных применялись принципы системности, структуризации, целостности, иерархичности и множественности. Метод исследования — структурно-функциональный подход, позволяющий рассмотреть элементы (подсистемы) и зависимости между ними в рамках единой организационно-технической системы.

Изучено текущее состояние, на основе исходных данных выполнен прогноз электрического потребления организационно-технической системы, построены математические модели электрической энергии и мощности для шести ценовых категорий, создан алгоритм выбора ценовой категории, позволяющий найти наиболее финансово выгодную ценовую категорию. Проведена независимая экспериментальная проверка алгоритма выбора ценовой категории, статья расходов «оплата потребленной электрической энергии» по объекту сократилась на 9%. Эксперимент показал практическую применимость математических моделей и экономическую эффективность алгоритма выбора ценовой категории электроэнергии. Выполненное исследование стало основой для выбора потребителями на территории Российской Федерации наиболее финансово выгодной ценовой категории и стоимости электрической энергии.

*Ключевые слова:* организационно-техническая система, электрическая энергия, мощность, ценовая категория, прогноз, стоимость, математическая модель.

*Для цитирования:* Устюгов Н.В., Проталинский О.М. Оптимизация ценовой категории потребления электроэнергии промышленного предприятия // Вестник МЭИ. 2020. № 5. С. 121—125. DOI: 10.24160/1993-6982-2020-5-121-125.

## Optimizing the Price Category of Electric Power Consumption by an Industrial Enterprise

N.V. Ustyugov, O.M. Protalinsky

The purpose of the study is to construct mathematical models of electric energy and power consumption for six price categories in an organizational and technical system and to develop an algorithm based on these models that will enable the consumer to select the most profitable cost of electricity. The system, which was regarded as an integral complex of interacting objects, was analyzed from the viewpoint of a systematic approach. Scientific data were analyzed proceeding from the principles of system consistency, structuring, integrity, hierarchy and multiplicity. A structural-and-functional approach, based on which elements (subsystems), and relationships between them can be considered within a single organizational and technical system, was used as the research method.

The current state was studied; the consumption of electricity by an organizational and technical system was predicted based on the source data; the mathematical models of electric energy and power were constructed for six price categories, and a price category selection algorithm was developed, using which the most financially profitable price category can be found. An independent experimental verification of the price category selection algorithm was carried out, which has shown that owing to its application, the cost item “payment of consumed electric energy” for the facility has decreased by 9%. The experiment has shown that the developed mathematical models can be applied in practice, and that the use of the electric energy price category selection algorithm allows economic gains to be obtained. The accomplished study has yielded results based on which the consumers located in the Russian Federation territory can select the most financially profitable price category and cost of electric energy.

*Key words:* organizational and technical system, electric energy, power, price category, forecast, cost, mathematical model.

*For citation:* Ustyugov N.V., Protalinsky O.M. Optimizing the Price Category of Electric Power Consumption by an Industrial Enterprise. Bulletin of MPEI. 2020;5:121—125. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2020-5-121-125.

**Введение**

Управление организационно-технической системой, которую представляет собой каждое предприятие, включает ряд составляющих, одной из которых является оптимизация потребления электрической энергии. Рост цен на электроэнергию и постоянное увеличение объема потребления определяют актуальность представленной проблемы. Оптимизация потребления электроэнергии и минимизация ее стоимости — перспективное направление для исследований [1—4].

Существуют разноплановые мероприятия, позволяющие минимизировать затраты на электроснабжение при неизменном объеме выработки продукции, одно из которых — выбор ценовой категории или варианта тарифа на передачу электроэнергии для потребителя [5 — 8]. Ценовая категория определяется из обеспеченности приборами учета, выбором тарифа на транспортировку электроэнергии, прогноза электропотребления и условиями планирования почасового расхода [9 — 11].

Построим математические модели прогноза потребления электрической энергии и мощности в организационно-технической системе для шести ценовых категорий, позволяющих потребителю выбрать выгодную стоимость электроэнергии [12 — 15].

Для выбора ценовой категории на последующем периоде требуется математическая модель прогноза на основе архивных данных энергопотребления предыдущего периода глубиной от 1 года до 5 лет [16]. В качестве критерия взяты финансовые расходы, направляемые на оплату потребленной электроэнергии [17]:

$$K_{\text{фр}} \rightarrow \min.$$

Ограничения математической модели стоимости электроэнергии для объектов первой ценовой категории формулируются следующим образом. Объем электрической энергии определяется в целом за расчетный период, планирования объемов часового электропотребления нет, тариф на передачу электрической энергии — одноставочный. Математическая модель для объектов первой ценовой категории, выражающая стоимость электроэнергии,  $C_{1э}$  выглядит как

$$C_{1э} = \Pi_{j,m,n}^{\text{пунцэм}} V_m^{\text{факт}},$$

$$\Pi_{j,m,n}^{\text{пунцэм}} = (\Pi_m^{\text{свнцэм}} + \Pi_m^{\text{сет}} + \Pi_m^{\text{пу}} + \Pi_m^{\text{сн,эм}});$$

$$\Pi_m^{\text{свнцэм}} = \Pi_m^{\text{свнцэ}} + \lambda_m \Pi_m^{\text{свнцм}} + \Delta \Pi_m^{\text{эм,перерасчет}},$$

где  $\Pi_{j,m,n}^{\text{пунцэм}}$  — предельный уровень нерегулируемых цен электроэнергии и мощности на  $j$  уровне напряжения в  $n$  группе потребителей;  $V_m^{\text{факт}}$  — фактические объемы потребления электрической энергии в расчетном периоде  $t$  (один календарный месяц);  $\Pi_m^{\text{свнцэм}}$  — средневзвешенная нерегулируемая цена электроэнергии и мощности;  $\Pi_{j,m}^{\text{сет}}$  — дифференцированный по уровням напряжения одноставочный тариф;  $\Pi_m^{\text{пу}}$  — плата за иные услуги;

$\Pi_{m,n}^{\text{сн,эм}}$  — сбытовая надбавка гарантирующего поставщика;  $\Pi_m^{\text{свнцэ}}$  — средневзвешенная нерегулируемая цена электроэнергии на оптовом рынке;  $\lambda_m$  — коэффициент оплаты мощности;  $\Pi_m^{\text{свнцм}}$  — средневзвешенная нерегулируемая цена мощности на оптовом рынке;  $\Delta \Pi_m^{\text{эм,перерасчет}}$  — величина изменения средневзвешенной нерегулируемой цены.

Формулировка ограничений математической модели стоимости электроэнергии для объектов второй ценовой категории: объем электроэнергии определяется по зонам суток, планирования объемов часового электропотребления нет, тариф на транспорт электрической энергии — одноставочный. Математическая модель для объектов второй ценовой категории  $C_{2э}$  равна:

$$C_{2э} = \sum_c (z \Pi_{j,m,n,z}^{\text{пунцэм}} V_m^{\text{факт},z});$$

$$\Pi_{j,m,n,z}^{\text{пунцэм}} = \Pi_{m,z}^{\text{свнцэм}} + \Pi_{j,m}^{\text{сет}} + \Pi_m^{\text{пу}} + \Pi_{m,n,z}^{\text{сн,эм}},$$

где  $c = z$  — множество диапазонов зон суток;  $\Pi_{j,m,n,z}^{\text{пунцэм}}$  — предельный уровень нерегулируемых цен электроэнергии и мощности в зоне суток;  $V_m^{\text{факт},z}$  — объем электроэнергии в зоне суток  $z$ ;  $\Pi_{m,z}^{\text{свнцэм}}$  — средневзвешенная нерегулируемая цена в зоне суток;  $\Pi_{m,n,z}^{\text{сн,эм}}$  — сбытовая надбавка гарантирующего поставщика, определяемая в отношении зоны суток.

Ограничения математической модели стоимости электроэнергии для объектов с третьей ценовой категорией следующие: объем электрической энергии определяется в почасовом формате, планирования объемов часового электропотребления нет, тариф на транспорт электроэнергии — одноставочный. Стоимость электрической энергии  $C_{3э}$  для объектов третьей ценовой категории определяется следующей математической моделью:

$$C_{3э} = \left[ \sum_1^T (\Pi_{j,m,n,h}^{\text{пунцэм,э}} V_h^{\text{факт}}) + \Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,м}} N_m^{\text{опфрэ}} \right];$$

$$\Pi_{j,m,n,h}^{\text{пунцэм,э}} = \Pi_{m,h}^{\text{свнцэ,бр}} + \Pi_{j,m}^{\text{сет}} + \Pi_m^{\text{пу}} + \Pi_{m,n,h}^{\text{сн,э}};$$

$$\Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,м}} = \Pi_m^{\text{свнцм}} + \Pi_{m,n}^{\text{сн,м}},$$

где  $\Pi_{j,m,n,h}^{\text{пунцэм,э}}$  — ставка за электроэнергию (СЭ) предельного уровня нерегулируемых цен;  $V_h^{\text{факт}}$  — объем электроэнергии в час  $h$ ;  $\Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,м}}$  — ставка за мощность (СМ) предельного уровня нерегулируемых цен;  $N_m^{\text{опфрэ}}$  — величина мощности почасовых объемов потребления;  $\Pi_{m,h}^{\text{свнцэ,бр}}$  — цена электроэнергии на оптовом рынке, дифференцированная по часам;  $\Pi_{m,n,h}^{\text{сн,э}}$  — сбытовая надбавка гарантирующего поставщика, учитываемая в стоимости электроэнергии в час;  $\Pi_{m,n}^{\text{сн,м}}$  — сбытовая надбавка гарантирующего поставщика, учитываемая в стоимости мощности.

Сформулируем ограничения математической модели стоимости электроэнергии для объектов четвертой ценовой категории: объем электрической энергии определяется в почасовом формате, планирования объемов почасового потребления нет, тариф на транспорт электрической энергии — двухставочный. Математи-

ческая модель стоимости электроэнергии  $C_{4эз}$  для четвертой ценовой категории:

$$C_{4эз} = \left[ \sum_1^T (\Pi_{j,m,n,h}^{\text{пунцэм,э}} V_h^{\text{факт}}) + \Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,м}} N_m^{\text{опфрэ}} + \Pi_{j,m}^{\text{пунцэм,с}} N_m^{\text{пнд}} \right];$$

$$\Pi_{j,m,n,h}^{\text{пунцэм,э}} = \Pi_{m,h}^{\text{свнцэ,бр}} + \Pi_{j,m}^{\text{сет,п}} + \Pi_m^{\text{пу}} + \Pi_{m,n,h}^{\text{сн,э}};$$

$$\Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,м}} = \Pi_m^{\text{свнцм}} + \Pi_{m,n}^{\text{сн,м}};$$

$$\Pi_{j,m}^{\text{пунцэм,с}} = \Pi_{j,m}^{\text{сет,с}};$$

где  $\Pi_{j,m}^{\text{пунцэм,с}}$ ,  $\Pi_{j,m}^{\text{сет,п}}$  — ставки за содержание электрических сетей и нормативных технологических потерь;  $N_m^{\text{пнд}}$  — величина мощности, оплачиваемая потребителем;  $\Pi_{j,m}^{\text{сет,с}}$  — ставка за содержание электрических сетей, определяемая органом исполнительной власти субъекта.

Сформулируем ограничения для математической модели стоимости электроэнергии пятой ценовой категории. Объем электрической энергии определяется в почасовом формате, планирование электрической энергии (мощности) в почасовом формате, тариф на транспорт электрической энергии — одноставочный. Математическая модель пятой ценовой категории, характеризующая стоимость электроэнергии  $C_{5эз}$ :

$$C_{5эз} = \left[ \sum_1^T (\Pi_{j,m,n,h}^{\text{пунцэм,э}} V_h^{\text{факт}} + \Pi_{m,n,h}^{\text{пунцэм,э2}} (\max(V_h^{\text{факт}} - V_h^{\text{план}}); 0)) + \Pi_{m,n,h}^{\text{пунцэм,э3}} (\max(V_h^{\text{план}} - V_h^{\text{факт}}); 0) + \Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,э4}} V_h^{\text{план}} + \Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,э5}} |V_h^{\text{факт}} - V_h^{\text{план}}| + \Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,м}} N_m^{\text{опфрэ}} \right];$$

$$\Pi_{j,m,n,h}^{\text{пунцэм,э}} = \Pi_{m,h}^{\text{свнцэ,рsv}} + \Pi_{j,m}^{\text{сет}} + \Pi_m^{\text{пу}} + \Pi_{m,n,h}^{\text{сн,э1}};$$

$$\Pi_{m,n,h}^{\text{пунцэм,э2}} = \Pi_{m,h}^{\text{свнцэ,+}} + \Pi_{m,n,h}^{\text{сн,э2}};$$

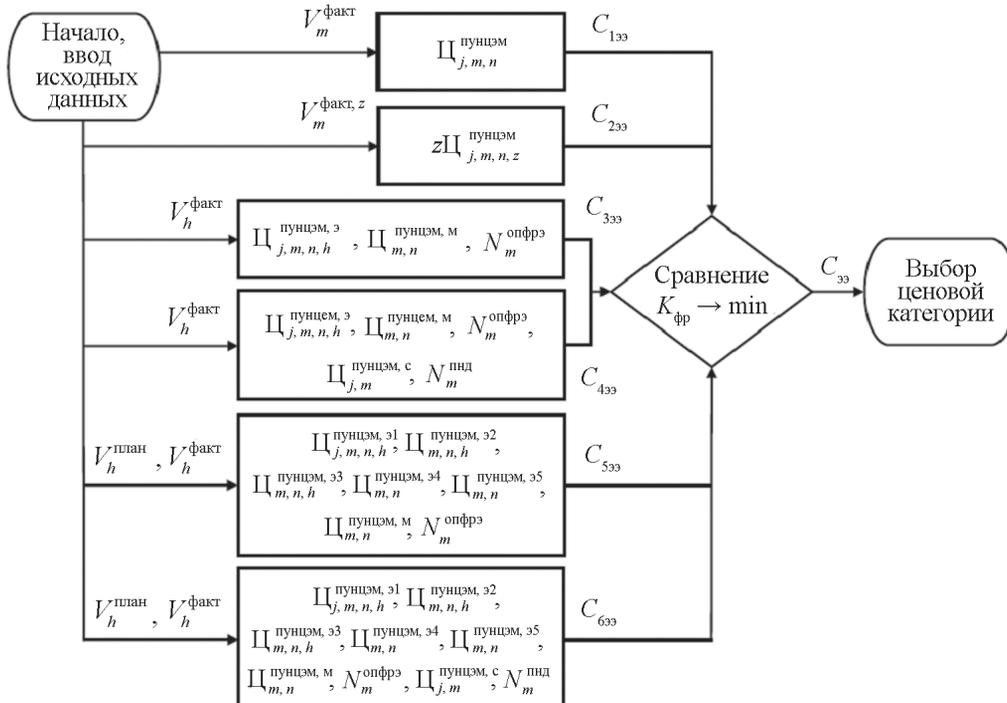
$$\Pi_{m,n,h}^{\text{пунцэм,э3}} = \Pi_{m,h}^{\text{свнцэ,-}} + \Pi_{m,n,h}^{\text{сн,э3}};$$

$$\Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,э4}} = \left| \Pi_m^{\text{рsv,небаланс}} \right| + \left| \Pi_{m,n}^{\text{сн,э4}} \right|;$$

$$\Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,э5}} = \left| \Pi_m^{\text{рb,небаланс}} \right| + \left| \Pi_{m,n}^{\text{сн,э5}} \right|;$$

где  $\Pi_{m,n,h}^{\text{пунцэм,э2}}$  — СЭ, применяемая к величине превышения фактического почасового объема покупки электроэнергии над плановым почасовым объемом потребителя;  $\Pi_{m,n,h}^{\text{пунцэм,э3}}$  — СЭ, применяемая к величине превышения планового почасового объема покупки электрической энергии над фактическим почасовым объемом потребителя;  $\Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,э4}}$  — СЭ, применяемая к сумме плановых почасовых объемов покупки электроэнергии;  $\Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,э5}}$  — СЭ, применяемая к сумме фактических и плановых почасовых объемов покупки электроэнергии;  $\Pi_{m,h}^{\text{свнцэ,рsv}}$  — цена электроэнергии, дифференцированная по часам на оптовом рынке;  $\Pi_{m,h}^{\text{свнцэ,+}}$  — цена электроэнергии в отношении объема превышения фактического потребления над плановым;  $\Pi_{m,h}^{\text{свнцэ,-}}$  — цена электроэнергии в отношении объема превышения планового потребления над фактическим;  $\Pi_m^{\text{рsv,небаланс}}$  — величина, приходящаяся на единицу электроэнергии, рассчитанная на основе ценовых заявок на сутки вперед;  $\Pi_m^{\text{рb,небаланс}}$  — приходящаяся на единицу электрической энергии величина, рассчитанная для балансирования системы, определяемая оператором оптового рынка для расчетного периода.

Ограничения математической модели стоимости электроэнергии для объектов с шестой ценовой категорией: объем электрической энергии и планирование



Алгоритм оптимального выбора ценовой категории

электрической энергии определяются в почасовом формате, тариф на транспорт электрической энергии — двухставочный. Математическая модель для шестой ценовой категории, выражающая стоимость электроэнергии  $C_{633}$ :

$$C_{633} = \left[ \sum_1^T \left( \begin{aligned} & \left( \Pi_{j,m,n,h}^{\text{пунцэм,э}} V_h^{\text{факт}} + \Pi_{m,n,h}^{\text{пунцэм,э2}} \left( \max(V_h^{\text{факт}} - V_h^{\text{план}}); 0 \right) \right) + \\ & \Pi_{m,n,h}^{\text{пунцэм,э3}} \left( \max(V_h^{\text{план}} - V_h^{\text{факт}}); 0 \right) + \Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,э4}} V_h^{\text{план}} + \\ & \Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,э5}} |V_h^{\text{факт}} - V_h^{\text{план}}| + \\ & \Pi_{m,n}^{\text{пунцэм,м}} N_m^{\text{опфрэ}} + \Pi_{j,m}^{\text{пунцэм,с}} N_m^{\text{пнд}} \end{aligned} \right) \right]$$

На основе предложенных математических моделей разработан алгоритм выбора ценовой категории (рисунок). Вычисления выполнены, исходя из предположения, что у потребителя имеется возможность технологического подключения любой необходимой мощности. Результаты решения сравниваются между

ценовыми категориями и выбирается наиболее финансово выгодная. Выполнено независимое экспериментальное исследование всех объектов и подсистем в организационно-технической системе на примере Алабяно-Балтийского автодорожного тоннеля. Сделаны расчет, выбор и переход на выгодную ценовую категорию, что дало экономию 4,3 млн руб. в 2018 г., статья расходов по оплате потребленной электрической энергии сократилась на 9%.

### Заключение

Исследовано текущее состояние и построены математические модели стоимости электрической энергии и мощности для организационно-технической системы, ставшие основой для разработки программного обеспечения, позволяющего на основе исходных данных автоматически построить прогноз электропотребления, вычислить объем и стоимости электрической энергии [18].

### Литература

1. Wenn Sich Vorteile Addieren [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/wenn-sich-vorteile-addieren-73374](http://www.automationnet.de/wenn-sich-vorteile-addieren-73374) (дата обращения 07.12.2019).
2. Offenheit als Prinzip [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/offenheit-als-prinzip-85840](http://www.automationnet.de/offenheit-als-prinzip-85840) (дата обращения 07.12.2019).
3. Virtuelle Instrumente [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/virtuelle-instrumente-82544](http://www.automationnet.de/virtuelle-instrumente-82544) (дата обращения 07.12.2019).
4. Vernetzte Möglichkeiten [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/vernetzte-moeglichkeiten-82185](http://www.automationnet.de/vernetzte-moeglichkeiten-82185) (дата обращения 07.12.2019).
5. Verteilte Intelligenz [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/verteilte-intelligenz-85938](http://www.automationnet.de/verteilte-intelligenz-85938) (дата обращения 08.12.2019).
6. Offenheit als Prinzip [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/offenheit-als-prinzip-85840](http://www.automationnet.de/offenheit-als-prinzip-85840) (дата обращения 08.12.2019).
7. Vernetzt und elektrifiziert [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/vernetzt-und-elektrifiziert-84054](http://www.automationnet.de/vernetzt-und-elektrifiziert-84054) (дата обращения 08.12.19).
8. Digitale Transformation im Blick [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/digitale-transformation-im-blick](http://www.automationnet.de/digitale-transformation-im-blick) (дата обращения 08.12.2019).
9. Remote Alles im Blick [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/remote-alles-im-blick-82626](http://www.automationnet.de/remote-alles-im-blick-82626) (дата обращения 08.12.2019).
10. Einstecken und Loslegen [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/einstecken-und-loslegen-82101](http://www.automationnet.de/einstecken-und-loslegen-82101) (дата обращения 08.12.2019).
11. Maschinenbau 4.0 [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/maschinenbau-4-0-83273](http://www.automationnet.de/maschinenbau-4-0-83273) (дата обращения 08.12.2019).
12. Fachkonferenz für Industrielle Automatisierung [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/fachkonferenz](http://www.automationnet.de/fachkonferenz)

### References

1. Wenn Sich Vorteile Addieren [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/wenn-sich-vorteile-addieren-73374](http://www.automationnet.de/wenn-sich-vorteile-addieren-73374) (Data Obrashcheniya 07.12.2019).
2. Offenheit als Prinzip [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/offenheit-als-prinzip-85840](http://www.automationnet.de/offenheit-als-prinzip-85840) (Data Obrashcheniya 07.12.2019).
3. Virtuelle Instrumente [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/virtuelle-instrumente-82544](http://www.automationnet.de/virtuelle-instrumente-82544) (Data Obrashcheniya 07.12.2019).
4. Vernetzte Möglichkeiten [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/vernetzte-moeglichkeiten-82185](http://www.automationnet.de/vernetzte-moeglichkeiten-82185) (Data Obrashcheniya 07.12.2019).
5. Verteilte Intelligenz [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/verteilte-intelligenz-85938](http://www.automationnet.de/verteilte-intelligenz-85938) (Data Obrashcheniya 08.12.2019).
6. Offenheit als Prinzip [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/offenheit-als-prinzip-85840](http://www.automationnet.de/offenheit-als-prinzip-85840) (Data Obrashcheniya 08.12.2019).
7. Vernetzt und elektrifiziert [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/vernetzt-und-elektrifiziert-84054](http://www.automationnet.de/vernetzt-und-elektrifiziert-84054) (Data Obrashcheniya 08.12.19).
8. Digitale Transformation im Blick [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/digitale-transformation-im-blick](http://www.automationnet.de/digitale-transformation-im-blick) (Data Obrashcheniya 08.12.2019).
9. Remote Alles im Blick [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/remote-alles-im-blick-82626](http://www.automationnet.de/remote-alles-im-blick-82626) (Data Obrashcheniya 08.12.2019).
10. Einstecken und Loslegen [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/einstecken-und-loslegen-82101](http://www.automationnet.de/einstecken-und-loslegen-82101) (Data Obrashcheniya 08.12.2019).
11. Maschinenbau 4.0 [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/maschinenbau-4-0-83273](http://www.automationnet.de/maschinenbau-4-0-83273) (Data Obrashcheniya 08.12.2019).
12. Fachkonferenz für Industrielle Automatisierung [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/fachkonferenz](http://www.automationnet.de/fachkonferenz)

renz-fuer-industrielle-automatisierung-am-16-17-mai-81764 (дата обращения 08.12.2019).

13. **Automatisierung** auf Neuem Niveau [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/automatisierung](http://www.automationnet.de/automatisierung) (дата обращения 08.12.2019).

14. **Was Wird Kommen** [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/was-wird-kommen-74030](http://www.automationnet.de/was-wird-kommen-74030) (дата обращения 08.12.2019).

15. **Planen** auf Vielen Ebenen [Электрон. ресурс] [www.automationnet.de/planen-auf-vielen-ebenen-80800](http://www.automationnet.de/planen-auf-vielen-ebenen-80800) (дата обращения 08.12.2019).

16. **Тарифы** и оплата [Электрон. ресурс] [www.mosenergo-sbyt.ru/website/faces/individuals/tariffs-n-payments](http://www.mosenergo-sbyt.ru/website/faces/individuals/tariffs-n-payments) (дата обращения 07.12.2019).

17. **Участникам** оптового рынка [Электрон. ресурс] [www.ats-energo.ru/uchastnikam-optovogo-rynka/gupok-moschnosti](http://www.ats-energo.ru/uchastnikam-optovogo-rynka/gupok-moschnosti) (дата обращения 07.12.2019).

18. **Этапы** и сроки технологического присоединения [Электрон. ресурс] [www.minenergo.gov.ru/activity/statistic](http://www.minenergo.gov.ru/activity/statistic) (дата обращения 07.12.2019).

fuer-industrielle-automatisierung-am-16-17-mai-81764 (Data Obrashcheniya 08.12.2019).

13. **Automatisierung** auf Neuem Niveau [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/automatisierung](http://www.automationnet.de/automatisierung) (Data Obrashcheniya 08.12.2019).

14. **Was Wird Kommen** [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/was-wird-kommen-74030](http://www.automationnet.de/was-wird-kommen-74030) (Data Obrashcheniya 08.12.2019).

15. **Planen** auf Vielen Ebenen [Elektron. Resurs] [www.automationnet.de/planen-auf-vielen-ebenen-80800](http://www.automationnet.de/planen-auf-vielen-ebenen-80800) (Data Obrashcheniya 08.12.2019).

16. **Tarify** i Oplata [Elektron. Resurs] [www.mosenergo-sbyt.ru/website/faces/individuals/tariffs-n-payments](http://www.mosenergo-sbyt.ru/website/faces/individuals/tariffs-n-payments) (Data Obrashcheniya 07.12.2019). (in Russian).

17. **Uchastnikam** Optovogo Rynka [Elektron. Resurs] [www.ats-energo.ru/uchastnikam-optovogo-rynka/rynok-moschnosti](http://www.ats-energo.ru/uchastnikam-optovogo-rynka/rynok-moschnosti) (Data Obrashcheniya 07.12.2019). (in Russian).

18. **Etapy** i Sroki Tekhnologicheskogo Prisoedineniya [Elektron. Resurs] [www.minenergo.gov.ru/activity/statistic](http://www.minenergo.gov.ru/activity/statistic) (Data Obrashcheniya 07.12.2019). (in Russian).

#### Сведения об авторах:

**Устюгов Никита Викторович** — аспирант кафедры автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ «МЭИ», e-mail: [UstyugovNV@dom.mos.ru](mailto:UstyugovNV@dom.mos.ru)

**Проталинский Олег Мирославович** — доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ «МЭИ», e-mail: [Protalinskiy@gmail.com](mailto:Protalinskiy@gmail.com)

#### Information about authors:

**Ustyugov Nikita V.** — Ph.D-student of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., NRU MPEI, e-mail: [UstyugovNV@dom.mos.ru](mailto:UstyugovNV@dom.mos.ru)

**Protalinsky Oleg M.** — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., NRU MPEI, e-mail: [Protalinskiy@gmail.com](mailto:Protalinskiy@gmail.com)

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Статья поступила в редакцию:** 22.12.2019

**The article received to the editor:** 22.12.2019