

УДК 621.311.22

DOI: 10.24160/1993-6982-2020-3-11-16

### Ситуация и перспективы развития интеллектуальной энергетики в Монголии

Баяр Бат-Эрдэнэ, Сэрээтэр Батмунх, Н.И. Воропай, Дорж Мунхтулга, Энхжаргал Энхтур

Традиционные технологии управления потоками электрической энергии в электроэнергетической системе ненадежны, о чем свидетельствуют некоторые системные аварии. В связи с этим представлена новая концепция управления потоками электрической энергии — «умная» (Smart Grids) или интеллектуальная энергосистема.

Министерством энергетики Монголии предложена государственная программа «Интеллектуальная энергетическая система» (ИЭС) (с последующим внедрением в производство), позволяющая повысить устойчивость, энергобезопасность и энергоэффективность электроэнергетической системы страны.

Переход к ИЭС представляет собой сложные инженерно-экономическую, научную и организационную задачи, включающие в себя, с одной стороны, масштабное обновление парка энергетического (электросетевого, генерирующего, электропотребляющего) оборудования, а с другой — использование нового поколения систем управления технологическими процессами и экономическими взаимодействиями (рыночными операциями) на всех уровнях.

Таким образом, переход к электроэнергетике нового типа должен гармонизировать все направления модернизации отрасли, естественным образом расширяя границы процесса обычного воспроизводства мощностей, выводя его за пределы традиционного экстенсивного сценария развития электроэнергетики, характеризующегося простым количественным увеличением производственного потенциала и его насыщением новыми технологиями.

По сути переход к ИЭС — это реализация интенсивного сценария развития отрасли, сопровождаемого изменением функциональности, то есть трансформацией существующих или появлением новых свойств в отдельных структурных сегментах и энергосистеме в целом. Таким образом, в настоящей статье предложена новая модель стратегии создания ИЭС в Монголии.

*Ключевые слова:* интеллектуальная энергетика Монголии, пирамида стратегии создания интеллектуальной энергетической системы, системный анализ.

*Для цитирования:* Баяр Бат-Эрдэнэ, Сэрээтэр Батмунх, Воропай Н.И., Дорж Мунхтулга, Энхжаргал Энхтур. Ситуация и перспективы развития интеллектуальной энергетики в Монголии // Вестник МЭИ. 2020. № 3. С. 11—16. DOI: 10.24160/1993-6982-2020-3-11-16.

### Current State of and Prospects for Development of Intelligent Energy Systems in Mongolia

Bayar Bat-Erdene, Sereeter Batmunkh, N.I. Voropai, Dorj Munkhtulga, Enkhjargal Enkhtur

The conventional technologies for control of power flows in the electric power system are insufficiently reliable, as evidenced by the occurrence of certain system-wide failures. In this connection, a new concept for control of electric power flows, called Smart Grid or an intelligent power system, is presented.

The Ministry of Energy of Mongolia has proposed a state program titled "Intelligent Energy System" (IES) with subsequently implementing it on a commercial scale, which will make the country's electric power system more stable, more energy secure, and more energy efficient.

The transition to an IES involves the need to solve complex engineering, economic, scientific and organizational problems, which include, on the one hand, a large-scale renewal of the fleet of power (electric network, generating, and electricity consuming) equipment, and, on the other hand, the use of new-generation systems for control of the technological processes and manage economic interactions (market operations) at all levels.

Thus, the transition to a new type of electric power industry should harmonize all areas in which the industry will be modernized. This transition will naturally expand the boundaries of the routine process through which the capacities are reproduced, moving it beyond the conventional extensive electric power industry development scenario, which is characterized by a simple quantitative increase of the production potential and its saturation with new technologies.

In fact, the transition to an IES is the implementation of an intensive industry development scenario, which is accompanied by a change in its functionality, i.e., by transformation of existing or emergence of new properties in individual structural segments and in the energy system as a whole. Thus, the article proposes a new model of the strategy for establishing an IES in Mongolia.

*Key words:* intellectual energy systems in Mongolia, intelligent energy system development strategy pyramid, system analysis.

*For citation:* Bayar Bat-Erdene, Sereeter Batmunkh, Voropai N.I., Dorj Munkhtulga, Enkhjargal Enkhtur. Current State of and Prospects for Development of Intelligent Energy Systems in Mongolia. Bulletin of MPEI. 2020;3:11—16. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2020-3-11-16.

## Введение

В настоящее время во многих странах мира исследуются и формируются новые концептуальные положения совершенствования топливно-энергетического комплекса (ТЭК), соответствующие целям и тенденциям современного развития мировой и национальной экономик стран, рассматривающие в комплексе различные негативные воздействия экономической, экологической и социальной природы, возникающие в энергетике. Технологическая инфраструктура современных электроэнергетических систем (ЭЭС) сложна и включает в себя множество различных пространственно распределенных, но взаимосвязанных технических элементов, в режиме реального времени осуществляющих процессы производства, передачи и распределения электрической энергии и реализующих общую стратегическую цель обеспечения надежного бесперебойного электроснабжения энергопотребителей.

Традиционные технологии управления потоками электрической энергии в электроэнергетической системе Монголии ненадежны, о чем свидетельствуют некоторые системные аварии, произошедшие в последние годы. В связи с этим предложено создание новой концепции управления потоками электрической энергии на базе «умной» (Smart Grids) или интеллектуальной энергосистемы.

Основная концептуальная идея интеллектуальных энергетических систем (ИЭС) заключается в создании системно интегрированной и самоуправляемой в режиме реального времени энергетической системы, имеющей единую сетевую инфраструктуру, технологически и информационно связывающую все генерирующие источники энергии и всех потребителей. Стратегическая цель ИЭС состоит в возможности создания наиболее надежного, безопасного и энергоэффективного режима работы системы в любой момент времени при любых меняющихся условиях внешней и внутренней среды [1, 2], обеспечивающей решение задач:

- доступности (подачи потребителям энергии в соответствии с необходимыми параметрами по времени, месту и качеству);
- надежности (возможности противостояния энергосистемы физическим и информационным негативным воздействиям без тотальных отключений или высоких затрат на восстановительные работы, а также ее

максимально быстрого восстановления (самовосстановления);

- экономичности (оптимизации тарифов на поставку в результате снижения общесистемных затрат на производство, передачу и распределение электрической энергии);
- эффективности (максимизации использования всех видов ресурсов и технологий при производстве, передаче, распределении и потреблении электроэнергии, ведущих к минимизации общесистемных затрат);
- экологичности (снижения негативного воздействия на окружающую среду);
- безопасности (недопущения ситуаций в электроэнергетике, потенциально опасных для людей и окружающей среды) [3].

Развитие исследований в области интеллектуальных энергетических систем в России подробно описано в [4 — 6].

В Монголии действуют пять самостоятельных электроэнергетических систем со следующей установленной мощностью:

- Центральная (ЦЭЭС) — 1250 МВт;
- Западная (ЗЭЭС) — 12 МВт;
- Южная (ЮЭЭС) — 77 МВт;
- Восточная (ВЭЭС) — 36 МВт;
- Алтайско-Улиастайская (АУЭЭС) — 11 МВт.

Географическое положение существующих ЭЭС Монголии приведено на рис. 1.

В настоящее время 80% потребляемой электроэнергии производится в стране, а 20% импортируется из России и Китая. На теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) в среднем 14,4% производимой электроэнергии уходит на собственные нужды, потери электроэнергии в системах — в среднем 13,7%, что в 1,3...1,7 раза выше по сравнению с аналогичными данными развитых стран [7]. Основные причины этого:

- большая протяженность линий электропередачи сравнительно невысокого напряжения (максимальная протяженность ЛЭП 110 кВ — примерно 700 км (одноцепная ЛЭП 110 кВ Мурэн-Тэлмэн));
- неравномерность суточного потребления электроэнергии (среднегодовое значение коэффициента неравномерности суточного графика электрических нагрузок ЦЭЭС — 0,7);
- использование поставщиками и потребителями устаревшего оборудования и технологий (средний срок

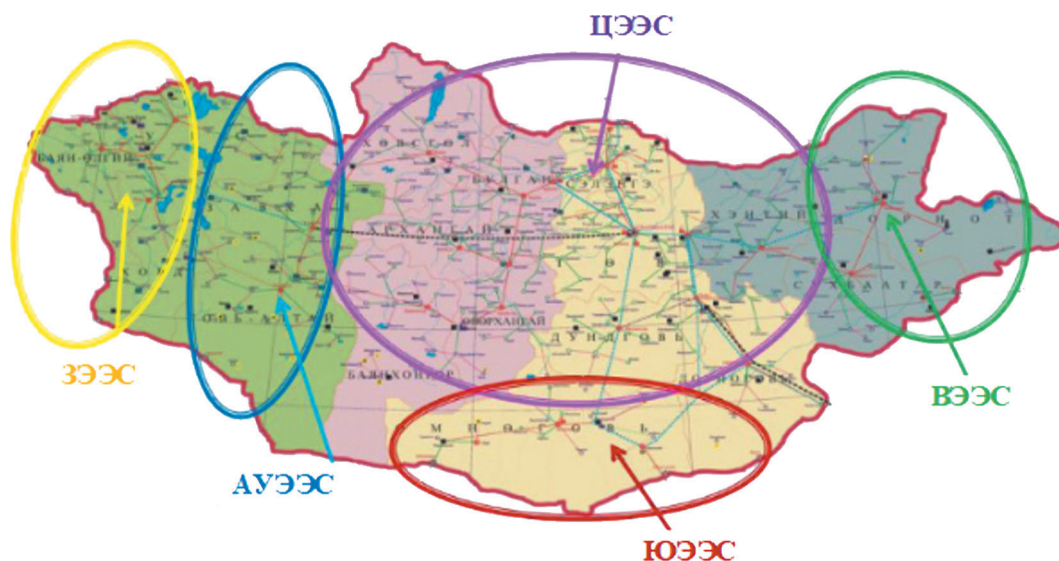


Рис. 1. Географическое положение электроэнергетических систем Монголии

службы котлов и турбогенераторов самого крупного источника ЦЭЭС — ТЭЦ-4 составляет 150...200 тыс. ч.);

- необоснованность расположения генерирующих мощностей (68% генерирующих мощностей находится в Улан-Баторе и его районах).

Учитывая приведенные недостатки и современные международные тенденции развития электроэнергетики, необходимо и целесообразно разработать интеллектуальную энергетическую систему с последующим ее введением. Министерством энергетики Монголии предложена государственная программа «Интеллектуальная энергетическая система», последующее использование которой позволит повысить устойчивость, энергобезопасность и энергоэффективность электроэнергетической системы страны.

Для реализации программы намечен комплекс мероприятий, в состав которого входят 33 вида работ по направлениям:

- обеспечения надежной и устойчивой работы ЭЭС в разных условиях;
- повышения экономичности и эффективности энергетической отрасли страны;
- внедрения интеллектуальной системы в распределительных сетях и на уровне потребления электроэнергии.

В программе предусмотрена стратегия создания по схеме пирамиды (рис. 2). При пошаговом анализе рис. 2 можно увидеть следующие этапы реализуемых работ.

Создание ИЭС — это системное изменение энергетической отрасли. Поэтому необходимо исследовать ее в целом по методологии системного подхода. Без подробного изучения нельзя нарисовать «дорожную карту» создания, разработать соответствующие стандарты и нормативные документы. Важными аспектами являются информационно-технологические достижения в сфере передачи и обработки информации и современ-



Рис. 2. Пирамида стратегии создания ИЭС (по государственной программе)

ных методов и моделей управления. Таким образом, документация — фундамент пирамиды стратегии создания ИЭС.

Результативность реализации государственной программы зависит от персонала-энергетиков. В программу, к сожалению, не включен — вопрос подготовки специалистов-энергетиков нового поколения.

В публикации [8] сказано, что увеличение генерирующих мощностей на возобновляемых источниках энергии (в том числе солнечных и ветровых) в электроэнергетической системе Монголии вызывает динамическую неустойчивость из-за того, что 80% вырабатываемой электроэнергии производится на ТЭЦ, работающих по теплофикационному графику на угле. Исходя из этого, следует отметить, что государствен-

ная программа создания ИЭС не доработана до конца и недостаточно обоснована с точки зрения науки.

Предложена новая пирамида стратегии создания ИЭС в Монголии (рис. 3). В нее включен системный анализ текущего состояния энергетических потребностей страны и необходимости разработки методологии создания математической модели ИЭС с детальной взаимосвязью с будущими иерархическими подсистемами (рис. 4).

Для результативного внедрения необходима подготовка специалистов-энергетиков нового поколения с хорошим знанием электроники, компьютерной техники и программы. Для этого нужна новая учебная программа при подготовке энергетиков нового поколения.

Следует совершенствовать методы производства электро- и теплоэнергии, внедрять энергоэффектив-

ные технологии в промышленном производстве, создавать условия организации эффективного и экономного использования энергий потребителями, а также устанавливать соответствующие энергоаккумулирующие устройства. Другими словами, важно внедрять комплексную интеллектуальную систему управления и менеджмента в энергетическом секторе.

Требуется разработка эффективной модели, объединяющей первичные и преобразованные энергоресурсы с энергопотреблением. Это должно быть обосновано внедрением новой методики составления единого топливно-энергетического баланса страны, позволит увидеть общую картину энергопотоков во всех отраслях экономики и разработать стратегию развития топливно-энергетического комплекса в целом. В Монголии создание топливно-энергетического баланса единой системной методикой пока не осуществляется, что затрудняет разработку общенационального энергетического баланса и стратегии развития топливно-энергетического сектора.

Таким образом, в основу пирамиды стратегии создания ИЭС заложено проведение комплексного системного исследования по разработкам теоретической и методологической основ.

Переход к ИЭС представляет сложную инженерно-экономическую, научную и организационную задачу, которая включает в себя, с одной стороны, масштабное обновление парка энергетического (электросетевого, генерирующего, электропотребляющего) оборудования, а с другой — переход на новое поколение систем управления технологическими процессами и экономическими взаимодействиями (рыночными операциями) на всех уровнях (см. рис. 4) [9]. В процессе изменения в методах и инструментах управления функционированием и развитием электроэнергетики исследователи предполагают три важнейших стадии:



Рис. 3. Разработанная пирамида стратегии создания ИЭС

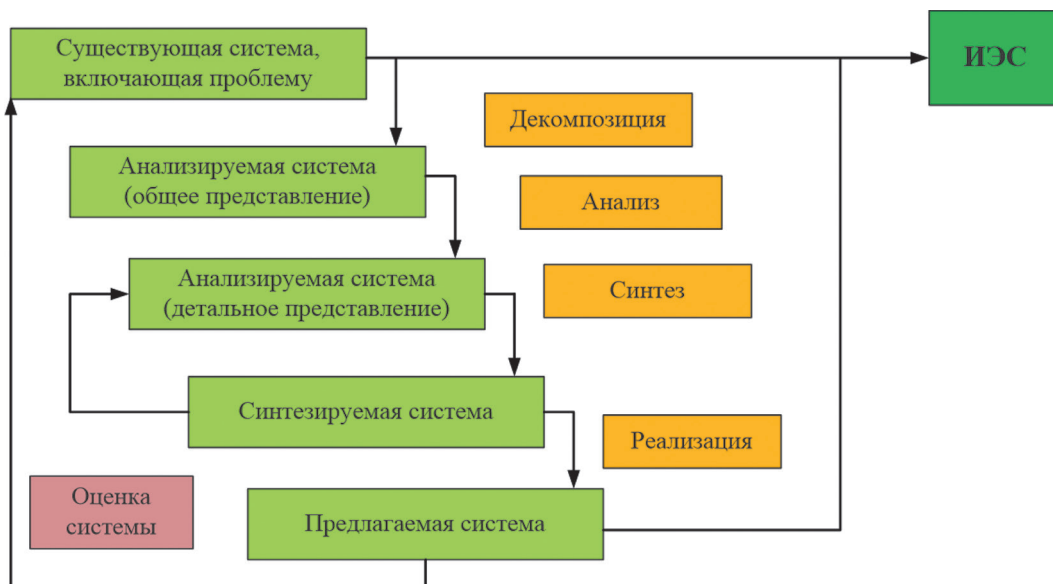


Рис. 4. Схема процесса системного исследования





Рис. 5. Общая схема перехода к ИЭС

- усовершенствование автоматизации, обеспечивающей большую оперативность реакции технических устройств и систем управления не только в аварийных ситуациях но и в переходных и рабочих режимах (противоаварийной автоматики АПНУ, АОСЧ, АОПЧ и др.);

- повышение информатизации, обеспечивающей новый уровень в наблюдаемости и контроле состояния, управляемости режимов работы отдельных технических устройств и энергосистемы в целом, используя цифровое векторное измерение (ввод СМПП с устройством синхронизированных векторных измерений ЭНИП-2);

- внедрение интеллектуальности на всех уровнях системы управления функционированием энергосистемы, обеспечивающей не только «реакцию по фактическому состоянию», но и «реакцию по прогнозу», исходя из оценки вероятных изменений параметров отдельных устройств, систем и потребителей.

Таким образом, переход к электроэнергетике нового типа должен гармонизировать все направления модернизации отрасли, естественным образом расширяя границы процесса обычного воспроизводства мощностей, выводя его за пределы традиционного экстенсивного сценария развития электроэнергетики, который характеризуется простым количественным увеличением производственного потенциала и его насыщением новыми технологиями.

По сути, переход к ИЭС — это реализация интенсивного сценария развития отрасли, сопровождаемого изменением функциональности, то есть трансформацией существующих или появлением новых свойств в

отдельных структурных сегментах и энергосистеме в целом (рис. 5).

### Заключение

Таким образом, проблема создания ИЭС требует предварительных системных исследований существующих структур и характеристик энергосистем страны и на этой методологической основе построения научно обоснованной концепции перехода к самопознаваемой, самокорректирующей свое состояние, оперативной единой системе с комплексными элементами управления на всех иерархических ступенях. Для того, чтобы будущая единая ИЭС отвечала этим характеристикам (свойствам), следует решить комплекс задач, направленных на рационализацию структуры системы, модернизацию систем управления с использованием цифровой техники. Также внутренняя ИЭС страны должна быть подготовлена к принятию на себя требований в случае присоединения ее к межгосударственной суперсистеме и вписываться в структуру транснационального энергообъединения Северо-Восточной Азии. Для полного решения поставленной проблемы необходимы интеллектуализация энергетики и разработка согласованных между собой поэтапных программ, обеспечение их выполнения Правительством страны.

Следовательно, создание ИЭС должно стать одним из ключевых механизмов в достижении целевой установки энергетической стратегии Монголии по трансформации отраслей энергетического комплекса в современную высокотехнологичную и эффективную инфраструктуру, обеспечивающую как количественный, так и качественный экономический рост.

### Литература

1. Окорочков В.Р., Волкова И.О., Окорочков Р.В. Интеллектуальные энергетические системы: технические возможности и эффективность. Ч. 1. Технологические и социально-экономические основания создания интеллектуальных энергетических систем // Академия энергетики. 2010. № 2 (34). С. 56—64.

### References

1. Okorokov V.R., Volkova I.O., Okorokov R.V. Intellectual'nye Energeticheskie Sistemy: Tekhnicheskie Vozmozhnosti i Effektivnost'. Ch. 1. Tekhnologicheskie i Sotsial'no-ekonomicheskie Osnovaniya Sozdaniya Intellektual'nykh Energeticheskikh Sistem. Akademiya Energetiki. 2010;2 (34):56—64. (in Russian).

2. **Бердников Р.Н. и др.** Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012.

3. **Кобец Б., Волкова И.** Smart Grid. Концептуальные положения // ЭнергоРынок. 2010. № 3 (76). С. 66—72.

4. **Васильев С.Н. и др.** Теоретические основы, методы и модели управления большими электроэнергетическими системами. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2015.

5. **Воропай Н.И. и др.** Комплекс интеллектуальных средств для предотвращения крупных аварий в электроэнергетических системах. Новосибирск: Наука, 2016.

6. **Взаимосвязи экономики в энергетике** [Электрон. ресурс] <https://www.eriras.ru/data/788/rus> (дата обращения 18.08.2019).

7. **Государственная политика в области энергетики на 2015 — 2030 гг.** [Электрон. ресурс] [http://energy.gov.mn/uploads/laws\\_file/09aeeec2d3dd77cd91e2d5a9f176d098a758986.pdf](http://energy.gov.mn/uploads/laws_file/09aeeec2d3dd77cd91e2d5a9f176d098a758986.pdf) (дата обращения 14.08.2019).

8. **Ulam-Orgil Ch., Hye-Won Lee, Yong-Cheol Kang.** Evaluation of the Wind Power Penetration Limit and Wind Energy Penetration in the Mongolian Central Power System // J. Electr. Eng. Technol. 2012. V. 7. Pp. 852—858.

9. **Веселов Ф.В., Дорофеев В.В.** Интеллектуальная энергосистема России как новый этап развития электроэнергетики в условиях цифровой экономики // Энергетическая политика. 2018. № 5. С. 43—52.

2. **Berdnikov R.N. i dr.** Kontseptsiya Intellekтуал'noy Elektroenergeticheskoy Sistemy Rossii s Aktivno-adaptivnoy Set'yu. M.: ОАО «FSK EES», 2012. (in Russian).

3. **Kobets B., Volkova I.** Smart Grid. Kontseptual'nye Polozheniya. EnergoRynok. 2010;3 (76):66—72. (in Russian).

4. **Vasil'ev S.N. i dr.** Teoreticheskie Osnovy, Metody i Modeli Upravleniya Bol'shimi Elektroenergeticheskimi Sistemami. M.: ОАО «FSK EES», 2015. (in Russian).

5. **Voropay N.I. i dr.** Kompleks Intellekтуал'nykh Sredstv dlya Predotvrashcheniya Krupnykh Avariyy v Elektroenergeticheskikh Sistemakh. Novosibirsk: Nauka, 2016. (in Russian).

6. **Vzaimosvyazi Ekonomiki v Energetike** [Elektron. Resurs] <https://www.eriras.ru/data/788/rus> (Data Obrashcheniya 18.08.2019). (in Russian).

7. **Gosudarstvennaya Politika v Oblasti Energetiki na 2015 — 2030 gg.** [Elektron. Resurs] [http://energy.gov.mn/uploads/laws\\_file/09aeeec2d3dd77cd91e2d5a9f176d098a758986.pdf](http://energy.gov.mn/uploads/laws_file/09aeeec2d3dd77cd91e2d5a9f176d098a758986.pdf) (Data Obrashcheniya 14.08.2019). (in Russian).

8. **Ulam-Orgil Ch., Hye-Won Lee, Yong-Cheol Kang.** Evaluation of the Wind Power Penetration Limit and Wind Energy Penetration in the Mongolian Central Power System. J. Electr. Eng. Technol. 2012;7:852—858.

9. **Veselov F.V., Dorofeev V.V.** Intellekтуал'naya Energosistema Rossii kak Novyy Etap Razvitiya Elektroenergetiki v Usloviyakh Tsifrovoy Ekonomiki. Energeticheskaya Politika. 2018;5:43—52. (in Russian).

#### Сведения об авторах:

**Баяр Бат-Эрдэнэ** — кандидат технических наук, профессор кафедры релейной защиты и автоматизации энергосистем НИУ «МЭИ», e-mail: [bat\\_erd@must.edu.mn](mailto:bat_erd@must.edu.mn)

**Сэрээтэр Батмунх** — действительный член (академик) АН Монголии, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники Монгольского университета науки и технологии, e-mail: [batmunkh\\_acad@yahoo.com](mailto:batmunkh_acad@yahoo.com)

**Воропай Николай Иванович** — член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии им. Г.М. Кржижановского, e-mail: [ni.voropai@yandex.ru](mailto:ni.voropai@yandex.ru)

**Дорж Мунхтулга** — аспирант кафедры релейной защиты и автоматизации энергосистем НИУ «МЭИ», e-mail: [munkh1003@gmail.com](mailto:munkh1003@gmail.com)

**Энхжаргал Энхтур** — ассистент кафедры релейной защиты и автоматизации энергосистем НИУ «МЭИ», e-mail: [enkhjur89@mail.ru](mailto:enkhjur89@mail.ru)

#### Information about authors:

**Bayar Bat-Erdene** — Ph.D. (Techn.), Professor of Relay Protection and Automation of Energy Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: [bat\\_erd@must.edu.mn](mailto:bat_erd@must.edu.mn)

**Sereeter Batmunkh** — Full Member (Academician) of the Mongolian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Techn.), Professor of Heat Engineering Dept., Mongolian University of Science and Technology, e-mail: [batmunkh\\_acad@yahoo.com](mailto:batmunkh_acad@yahoo.com)

**Voropai Nikolay I.** — Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Techn.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Winner of the G.M. Krzhizhanovsky Prize, e-mail: [ni.voropai@yandex.ru](mailto:ni.voropai@yandex.ru)

**Dorj Munkhtulga** — Ph.D.-student of Relay Protection and Automation of Energy Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: [munkh1003@gmail.com](mailto:munkh1003@gmail.com)

**Enkhjargal Enkhjur** — Assistant of Relay Protection and Automation of Energy Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: [enkhjur89@mail.ru](mailto:enkhjur89@mail.ru)

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

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

Статья поступила в редакцию: 18.11.2019

The article received to the editor: 18.11.2019