

УДК 621.311 (620.9)

DOI: 10.24160/1993-6982-2021-1-56-61

Возобновляемые источники энергии в системе децентрализованного энергоснабжения ряда округов Кот д'Ивуар

М.Л. Горбунова, Куасси Яо Донатьен

Работа посвящена подведению итогов исследований по вопросам оценки децентрализованной энергетики, проведенных авторами. Основная цель — оценка влияния децентрализованной генерации как на жизнедеятельность выбранных округов, так и страны в целом. Для выявления эффектов внедрения технологий децентрализованной генерации использован метод анализа практических кейсов, проведенного на базе 3-х из 14 округов Кот-д'Ивуара, менее всего электрифицированных и являющихся стратегическими пунктами при транспортировке энергии в соседние страны. По итогам проведенных работ выявлены технологические, экономические и социальные проблемы. К технологическим относятся: повышение надежности энергоснабжения, снижение нагрузки на окружающую среду, в том числе выбросов CO₂, и др. К экономическим и социальным — доступность энергоснабжения для потребителей, снижение стоимости электроэнергии.

Ключевые слова: децентрализованная генерация, метод анализа практических кейсов, энергоснабжение.

Для цитирования: Горбунова М.Л., Куасси Яо Донатьен. Возобновляемые источники энергии в системе децентрализованного энергоснабжения ряда округов Кот д'Ивуар // Вестник МЭИ. 2021. № 1. С. 56—61. DOI: 10.24160/1993-6982-2021-1-56-61.

Renewable Energy Sources in the Decentralized Power Supply System of Several Districts in Côte d'Ivoire

M.L. Gorbunova, Kouassi Yao Donatien

The article summarizes the results of research works carried out by the authors on matters concerned with assessment of decentralized energy. The main aim of the study was to estimate the influence of decentralized generation on the life activities of the selected districts and the country as a whole. To identify the effects from introduction of decentralized generation technologies, a case study analysis method was used. The analysis was carried out on the basis of 3 from 14 districts of Côte d'Ivoire, which are the least electrified points and are regarded to be strategic ones in transporting power to the neighboring countries. As a result of the study, technological, economic and social effects have been identified. The technological effects include achieving better reliability of power supply, reducing the environmental burden, including emissions CO₂ and others. The economic and social effects are that power supply becomes available to consumers, and the electricity becomes cheaper.

Key words: decentralized generation, case study analysis method, power supply.

For citation: Gorbunova M.L., Kouassi Yao Donatien. Renewable Energy Sources in the Decentralized Power Supply System of Several Districts in Côte d'Ivoire. Bulletin of MPEI. 2021;1:56—61. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2021-1-56-61.

Введение

Анализ Ивуарийской энергетической отрасли в целом показал ее большую централизованность. Электроэнергетическая система (ЭЭС) Кот-д'Ивуара состоит из основной (225 кВт) и региональной (90 кВт) транспортных сетей и распределительных сетей 33 и 15 кВт. Распределительная сеть 33 кВт используется для транспортировки энергии на большие расстояния, в небольшие населенные пункты, отдаленные от городских районов, в то время, как сеть 15 кВт предназначена для городских районов. Для крупных потребителей напряжение составляет 33 и 15 кВт, для обычных — 380 и 220 В [1].

Ивуарийская ЭЭС характеризуется следующими особенностями.

Энергоснабжение сосредоточено в южной (тепловые электростанции) и южно-центральной (гидроэлектростанции) частях страны. Расстояние между местами производства и спроса на электроэнергию относительно невелико, поскольку 70% национального потребления приходится на Абиджан и его окрестности. Для подачи электроэнергии в центр Абиджана создана высоконадежная круговая сеть 225 кВт.

Несмотря на наличие линий на севере, востоке и западе страны, транспортировка энергии в Мали, Буркина-Фасо, Гану, Либерию, Гвинею идет от электростанций юга и юго-центра.

Сети в других городах отличаются низкой надежностью, из-за того, что большое количество линий электропередачи 225 и 90 кВт — одноцепные, а многие подстанции имеют только одну шину и один трансформатор.

Большинство линий электропередачи — воздушные, но часть столицы Абиджан обслуживается кабельными (подземными) линиями с напряжением 90 кВт.

Кот-д'Ивуар является важной частью Западноафриканской системы обмена электроэнергией (WAPP). В настоящее время имеются линии электропередачи 225 кВт с соседними государствами. С одной стороны, страна связана с компаниями SONABE из Буркина-Фасо и EDM из Мали через северную сеть, а с другой — с ганской электроэнергетической компанией GRIDCo. Иногда Ивуарийская система поставляет через Гану электроэнергию в тоголезские и бенинские сети, управляемые бенинской компанией CEB [2].

Энергетический баланс Кот-д'Ивуара полностью зависит от тепловых (ТЭС) (80% производства электроэнергии) и гидроэлектростанций (20%). Фактический уровень доступа к электричеству населенных пунктов, по сравнению с домашними хозяйствами, вырос с 78% (2016 г.) до 82% (2018 г.). Несмотря на это, только 29% домохозяйств в настоящее время подключены к электросети. Эта разница объясняется затратами на подключение, почти в четыре раза превышающими минимальную заработную плату. Потери при транспортировке и распределении энергии составляют 23% (не включены технические потери) [3].

Ключевая задача развития электроэнергетического сектора — снижение стоимости установок источников децентрализованной генерации, в том числе, возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ) [4]. Децентрализованная генерация чрезвычайно важна при электрификации отдаленных пунктов и сельских районов, поскольку она повышает надежность и снижает потери при распределении и транспортировке.

Следует отметить, что остальные округа Кот-д'Ивуара (Саванна, Гор, Воробы) не имеют доступа к надежной и устойчивой энергии, хотя электрические линии для продажи электроэнергии в соседние страны и проходят через них.

Цели настоящей работы:

- исследование вопроса реализации децентрализованной генерации с использованием возобновляемых источников энергии в округах Саванна, Гор и Воробы;
- оценка результатов применения децентрализованной генерации для страны в целом и выработка мер для развития децентрализованной генерации в Кот д'Ивуаре.

Понятие и эффективность децентрализованной генерации

Выработка 65% электрической энергии приходится на традиционные источники, в том числе, использование полезных ископаемых, что негативно влияет на экологию. При децентрализации энергоснабжения в тандеме с альтернативной энергией энергетика становится более безопасной для экологии, поскольку снижаются выбросы углерода [5]. Во многих странах, с развитием централизованного энергоснабжения, активно поддер-

живается тенденция масштабного перехода к децентрализованной генерации энергии (ДГЭ). Указанные системы энергоснабжения противопоставляются друг другу с преимущественным предпочтением децентрализованной генерации энергии, как обладающей наибольшей конкурентоспособностью. Однако, для каждой из них характерны свои сферы применения, где в наибольшей степени проявляются их преимущества [6].

Существуют разные подходы к определению понятия децентрализованной генерации энергии, предназначенной для выработки электроэнергии в непосредственной близости от локальных потребителей с учетом их специфических запросов по объемам и профилю потребления [7].

По мнению президента ООО «Русэнергосбыт» объекты с установленной мощностью менее 25 МВт в России называются малой энергетикой, однако иностранные эксперты проводят разграничение уже на уровне 10 или 50 Мвт [8].

В некоторых работах, особенно в англоязычной литературе, к децентрализованной генерации принято относить большую часть систем с использованием возобновляемых источников энергии [8]. Это некорректно для стран, где децентрализованная генерация полностью состоит из объектов на газе и топливе.

Децентрализованная генерация энергии понимается как производство энергии на уровне распределительной сети или на стороне потребителя, включенно-го в сеть [9 — 12].

В данной работе рассмотрена децентрализованная генерация с использованием возобновляемых источников энергии в округах Саванна, Гор и Воробы, поскольку указанные округа обладают большими потенциалами ВИЭ (солнечная энергия, биомассы и малые ГЭС), и их развитие позволит снизить выбросы CO₂ (рис. 1).

Общая характеристика и проблемы энергоснабжения в округах Воробы, Гор и Савана

Округ Саванна находится на севере, а Гор и Воробы расположены на западе и северо-западе страны (рис. 2). Сеть 225 кВ запада и севера-центрального округа питается от гидроэлектростанции Таабо круговой сетью общей протяженностью 1460 км. Весь север снабжается электростанцией 225 кВ и тремя электростанциями по 90 кВ, а Воробы и Гор присоединены к электростанции 225 кВ. Таким образом, энергоснабжение централизовано на юге страны.

Разбивка затрат на электроэнергию в 2017 г. показана на рис. 3. Из общего количества (0,109 евро/квт·ч) затраты на производство электроэнергии составляют около 64%. Согласно CI-ENERGIES (энергетическая компания Кот-д'Ивуара), мерами по снижению затрат на производство электроэнергии являются повышение эффективности газовых турбин с комбинированным циклом и развитие гидроэнергетики, однако потери на

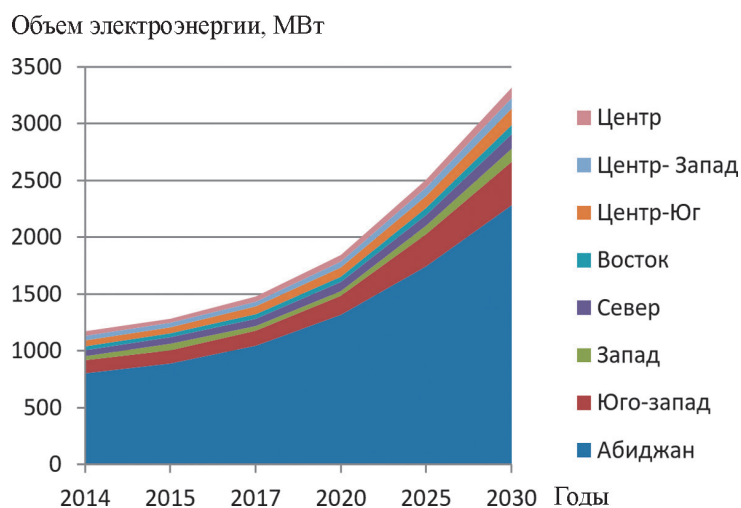


Рис. 1. Спрос на электроэнергию и прогнозные значения по регионам [2]

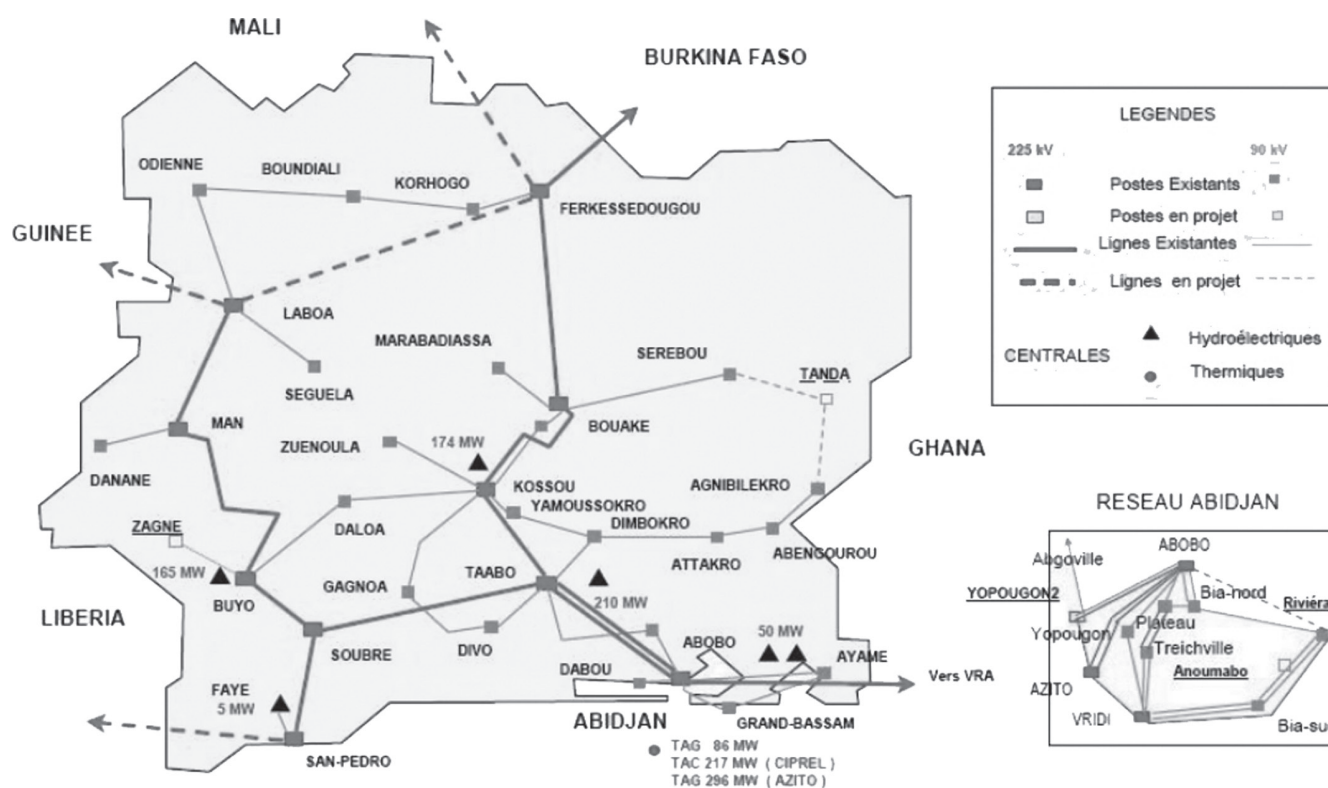


Рис. 2. Электрическая сеть Кот-д'Ивуара

транспортировку и распределение также огромны — 16% (рис. 3). Децентрализация генерации энергии с использованием возобновляемых источников энергии, таких как биомасса (отходы переработки какао-бобов, орехов кешью и пальмовое масло), солнечная энергия, малые гидростанции, помогут сократить расходы.

В округе Гор проживает 1,607 млн человек. В его состав входят 3 региона (Гемон, Кавалли, Томкпи) и 44 населенных пункта. Основной экономической деятельностью является сельское хозяйство. Основные ресурсы — железо, никель, медь, золото, платиноиды.

Электроснабжение в округе слабое и нерегулярное с частым отключением. В нескольких населенных пунктах нет доступа к электричеству. Так, в Тонкпи электрифицировано 175 из 621 деревень (28,18%). У округа огромный потенциал возобновляемой энергии, включающий гидрографическую сеть (реки Кавалли, Бафинг и Нуон) и отходы сельскохозяйственной продукции.

Саванский округ обладает площадью 40323 км² и населением в 237 000 человек (139 городов). Его экономика основана преимущественно на сельском

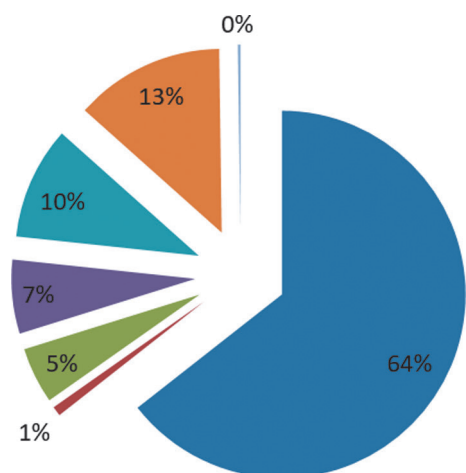


Рис. 3. Распределение затрат на электроэнергию [2]:

■ — стоимость производства, евро/кВт·ч; ■ — потери при производстве, евро/кВт·ч; ■ — потери при транспортировке, евро/кВт·ч; ■ — прибыль при транспортировке, евро/кВт·ч; ■ — потери при распределении, евро/кВт·ч; ■ — прибыль при распределении, евро/кВт·ч; ■ — себестоимость импортных закупок

хозяйстве. Тропический климат способствует разнообразию выращиваемых сельскохозяйственных культур (основные: хлопок, кешью, манго). Уровень покрытия электроэнергией составляет 65%, но в 80% домохозяйств нет электричества. Основной источник — древесная энергия. Около 90% городского и 100% сельского населения используют дрова или древесный уголь. Согласно отчетам, уровень покрытия энергией самого большого города в округе (Корого) — менее 15%. Имеется большой потенциал для развития солнечной энергетики (рис. 4, 5). Используя его, округ сможет обеспечить электричеством не только регионы Поро, Чолого, Багуэ, но и соседние страны.

Округ Воробы площадью 31088 км² с населением в 845139 жителей находится на северо-западе страны. Его экономика также базируется на сельском хозяйстве. Имеется огромный потенциал в плане добычи полезных ископаемых (никель, золото и алмазы). Энергетические проблемы в трех регионах (Бафинг, Бере, Вородугу) округа схожи. В Бафинге некоторые населенные пункты страдают от недостатка энергетических инфраструктур, что сказывается на качестве покрытия электросетей. В отдельных районах и домах нет электричества, часто снижается нагрузка, происходят несвоевременные отключения электроэнергии. У округа значительный водный потенциал. Регион Вородугу обладает двумя реками (Сассандрой и Яни, являющейся притоком Марауэ), в Бафинге три реки — притоки Сасандры.

Методология и результаты исследования

Эмпирический анализ экономической и энергетической эффективности от внедрения децентрализо-

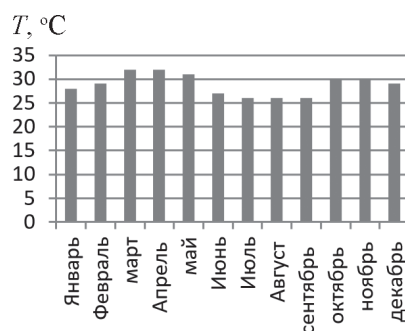


Рис. 4. Среднемесячные показатели температуры в регионе Поро [2]

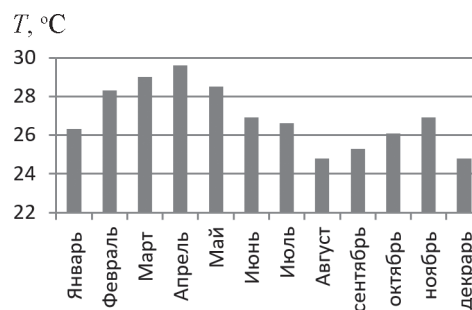


Рис. 5. Среднемесячные показатели температуры в регионе Чолого [2]

ванной генерации выполнен на базе энергоснабжения энергетической отрасли Кот д’Ивуара и трех Ивуарийских округов. Исходные данные приведены в таблице. Выявлен ряд положительных моментов внедрения децентрализованной генерации для Ивуарийской энергетической отрасли и округов. Их можно обобщить и разделить на две большие группы.

К технологическим относят:

- повышение надежности энергоснабжения потребителей;
- энергобезопасность за счет внедрения бестопливных технологий и расширения номенклатуры источников энергии, вовлечения местных энергоресурсов, снижения зависимости от природного газа;
- снижение нагрузки на окружающую среду, в том числе выбросов CO₂.

К экономическим и социальным эффектам принадлежат:

- уменьшение потерь в сетях при передаче и распределении энергии (размещение объектов распределенной генерации в территориальной близости от потребителя позволяет обходиться без сооружения центральных и южных электростанций)
- обеспечение потребителей электроэнергией заданного качества;
- снижение технологических потерь в сетях и соответствующее уменьшение стоимости электроэнергии;
- повышение доступности энергоснабжения для потребителей, в том числе, находящихся на изолированных территориях, вне единой энергосистемы страны.

Эффекты внедрения децентрализованной генерации в Ивуарийскую энергетическую отрасль

Результаты применения децентрализованной генерации	Эффекты от применения децентрализованной генерации для энергетической отрасли
Энергоэффективность	Экономия энергоресурсов на государственном уровне, повышение безопасности энергоснабжения, сокращение объема выбросов парниковых газов
Использование локальных энергетических ресурсов	Повышение конкурентоспособности страны, открытый доступ к электричеству, снижение потерь энергии при транспортировке
Развитие ВИЭ	Улучшение состояния окружающей среды, переход национальной экономики к устойчивому развитию, диверсификация и инновация в энергетическом балансе
Снижение объемов инвестиций, необходимых для поддержки и развития сетевой инфраструктуры	Снижение тарифной нагрузки на потребителей, поддержка социальной стабильности

К тому же децентрализованные системы требуют меньше пространства.

Эффекты применения децентрализованной генерации в округах Гор, Саванна и Воробы

Децентрализованная генерация положительно влияет на экономику, образование и здравоохранение в выбранных округах.

Благодаря доступному электроснабжению доходы домохозяйств могут быть повышены путем:

- развития небольших коммерческих и ремесленных предприятий (торговых точек, ресторанов, пекарен, парикмахерских, механических и сварочных мастерских);
- удержания молодежи, благодаря созданию новых рабочих мест;
- увеличения производительности труда населения и реализации дополнительных доходов, участвующих в рыночной экономике;
- переработки и консервирования сельскохозяйственной продукции.

Электрификация населенных пунктов улучшит условия и результаты учебы, обеспечит население сельских районов сотовой связью, телевидением и интернетом. Она увеличит продолжительность жизни населения, благодаря:

- возможности консервации фармацевтических препаратов и различных средств по уходу;
- доступу к питьевой воде через сети водоснабжения, приводимые в действие электронасосами;

Литература

1. **CIENERGIE.** Diagnostic du Secteur de l'Énergie en Côte d'Ivoire Rapport Final de L'étude de Collecte des Données Relatives au Secteur de L'énergie Electrique [Электрон ресурс] www.openjicareport.jica.go.jp/pdf/12333894.pdf (дата обращения 25.05.2020).
2. **Borloo J.-L.** Les Prévisions Energétiques en 2050 [Электрон ресурс] www.club-2030.com/telechargement/Livre-energie-Afrique-horizon-2050.pdf (дата обращения 25.05.2020).

- наличию всех видов оперативного медицинского электрооборудования для диагностики и ухода;
- снижению количества отравлений и пожаров, вызванных использованием традиционной медицины и традиционного осветительного оборудования.

Заключение

Доказано, что результаты применения децентрализованной генерации для округов, выявленные в ходе исследования, окажут положительное влияние на экономику в страны в целом и станут примером для других округов.

Они позволяют сделать вывод о необходимости и эффективности реорганизации Ивуарийской электроэнергетики в сеть интегрированных в единую энергосистему локализованных кластеров производителей и потребителей энергии, использующих общую инфраструктуру. Требуются предварительные количественные и качественные оценки стоимости и последствий подобного преобразования.

По итогам проведенного исследования рекомендован ряд мер для развития децентрализованной генерации энергетической отрасли Кот д'Ивуара.

В среднесрочном периоде необходима разработка стратегии децентрализованной генерации в каждом округе с учетом использования альтернативных источников энергии. В краткосрочном периоде — поддержание децентрализованной генерации для снижения инвестиционных рисков, создание программ мотивации и повышения уровня осведомленности заинтересованных лиц.

References

1. **CIENERGIE.** Diagnostic du Secteur de l'Énergie en Côte d'Ivoire Rapport Final de L'étude de Collecte des Données Relatives au Secteur de L'énergie Electrique [Elektron Resurs] www.openjicareport.jica.go.jp/pdf/12333894.pdf (Data Obrashcheniya 25.05.2020).
2. **Borloo J.-L.** Les Prévisions Energétiques en 2050 [Elektron Resurs] www.club-2030.com/telechargement/Livre-energie-Afrique-horizon-2050.pdf (Data Obrashcheniya 25.05.2020).

3. **Sustainable Energy for All. Rapid Assessment Gap Analysis Côte d'Ivoire.** [Электрон ресурс] www.seforall.org/sites/default/files/l/2015/05/Cote_dIvoire_RAGA.pdf. (дата обращения 25.05.2020).

4. **Стенников В.А., Воропай Н.И.** Централизованная и распределенная генерация – не альтернатива, а интеграция // *Инновационная энергетика* — 21. М.: Энергия, 2017. С. 272—290.

5. **Балуев И.Н.** Децентрализованная энергетика — будущее 21 века // *Инновации, интеллект, культура: Материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов. Тюмень: Изд-во Тюменского индустриального ун-та, 2014. С. 121—124.*

6. **Андронов М.** Распределенная генерация: будущее энергетики или тупик? [Электрон ресурс] www.if24.ru/budushhee-energetiki/ (дата обращения 27.05.2020).

7. **Трачук А.В., Линдер Н.В.** Технологии распределенной генерации: эмпирические оценки факторов применения // *Стратегические решения и риск-менеджмент.* 2018. № 1. С. 32—48.

8. **Линдер Н.В., Трачук А.В.** Влияние перекрестного субсидирования в электро- и теплоэнергетике на изменение поведения участников оптового и розничного рынков электро- и теплоэнергии // *Стратегические решения и риск-менеджмент.* 2017. № 3. С. 76—86.

9. **World Survey of Decentralized Energy.** Edinburgh: WADE, 2005.

10. **Ackermann T., Anderson G., Soeder L.** Distributed Generation: a Definition // *Electric Power Syst. Research.* 2001. V. 57. Pp. 195—204.

11. **Жолнерчик С., Налбандян Г.Г.** Ключевые факторы эффективного применения технологий распределенной генерации в промышленности // *Стратегические решения и риск-менеджмент.* 2018. № 1 (106). С. 80—87.

12. **Кейко А.В.** Становление прогнозных технологических исследований в энергетике // *Системные исследования в энергетике. Ретроспектива научных направлений СЭИ–ИСЭМ.* Новосибирск: Наука, 2010. С. 127—146.

3. **Sustainable Energy for All. Rapid Assessment Gap Analysis Côte d'Ivoire.** [Elektron Resurs] www.seforall.org/sites/default/files/l/2015/05/Cote_dIvoire_RAGA.pdf. (Data Obrashcheniya 25.05.2020).

4. **Stennikov V.A., Voropay N.I.** Tsentralizovannaya i Raspredelennaya Generatsiya – ne Al'ternativa, a Integratsiya. *Innovatsionnaya Energetika* — 21. M.: Energiya, 2017:272—290. (in Russian).

5. **Baluev I.N.** Detsentralizovannaya Energetika — Budushchee 21 Veka. *Innovatsii, Intellekt, Kul'tura: Materialy XXI Vseros. Nauch.-prakt. Konf. Molodykh Uchenykh i Studentov. Tyumen': Izd-vo Tyumenskogo Industrial'nogo Un-ta, 2014:121—124.* (in Russian).

6. **Andronov M.** Raspredelennaya Generatsiya: Bu-dushchee Energetiki ili Tupik? [Elektron Resurs] www.if24.ru/budushhee-energetiki/ (Data Obrashcheniya 27.05.2020). (in Russian).

7. **Trachuk A.V., Linder N.V.** Tekhnologii Raspredelennoy Generatsii: Empiricheskie Otsenki Faktorov Primeneniya. *Strategicheskie Resheniya i Risk-menedzhment.* 2018;1:32—48. (in Russian).

8. **Linder N.V., Trachuk A.V.** Vliyanie Perekrestnogo Subsidirovaniya v Elektro- i Teploenergetike na Izmenenie Povedeniya Uchastnikov Optovogo i Roznichnogo Rynkov Elektro- i Teploenergii. *Strategicheskie Resheniya i Risk-menedzhment.* 2017;3:76—86. (in Russian).

9. **World Survey of Decentralized Energy.** Edinburgh: WADE, 2005.

10. **Ackermann T., Anderson G., Soeder L.** Distributed Generation: a Definition. *Electric Power Syst. Research.* 2001;57:195—204.

11. **Zholnerchik S., Nalbandyan G.G.** Klyucheveye Faktory Effektivnogo Primeneniya Tekhnologiy Raspredelennoy Generatsii v Promyshlennosti. *Strategicheskie Resheniya i Risk-menedzhment.* 2018;1 (106):80—87. (in Russian).

12. **Keyko A.V.** Stanovlenie Prognoznykh Tekhnologicheskikh Issledovaniy v Energetike. *Sistemnye Issledovaniya v Energetike. Retrospektiva Nauchnykh Napravleniy SEI–ISEM.* Novosibirsk: Nauka, 2010:127—146. (in Russian).

Сведения об авторах:

Горбунова Мария Лавровна — доктор экономических наук, заведующая кафедрой экономики предприятий и организаций Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, e-mail: gorbunova@iee.unn.ru

Яо Донатьен Куасси — аспирант кафедры экономики предприятий и организаций Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, e-mail: donayedidia@yahoo.fr

Information about authors:

Gorbunova Mariya L. — Dr. Sci. (Economic), Head of Economics of Enterprises and Organizations Dept., Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, e-mail: gorbunova@iee.unn.ru

Yao Donatien Kouassi — Ph.D.-student of Economics of Enterprises and Organizations Dept., Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, e-mail: donayedidia@yahoo.fr

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 15.06.2020

The article received to the editor: 15.06.2020