

Подходы к модернизации энергетической промышленности для обеспечения развития цифровой экономики

Илья Вадимович Самарин

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой Автоматизации технологических процессов
Российский государственный университет нефти и газа НИУ им. И.М. Губкина

Москва, Россия

ivs@tpp.su

ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 09.11.2023

Принята 25.12.2023

Опубликована 15.02.2024

УДК 621.3

EDN GYCMXQ

ВАК 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

OECD 02.02.AC AUTOMATION & CONTROL SYSTEMS

Аннотация

В эпоху цифровизации экономических процессов перед компаниями встает задача глубокой трансформации существующих стратегий распределения производственных ресурсов и методов прогнозирования спроса. Такое преобразование подразумевает переход к интеграции в единое информационное пространство, что, в свою очередь, позволяет существенно повысить точность и эффективность прогнозирования бизнес-активности. Данная трансформация становится краеугольным камнем в формировании устойчивого развития на уровне отдельных государств. Научная новизна данного исследования заключается в разработке методологии для создания унифицированной системы прогнозирования спроса на компоненты продукции в энергетической отрасли, включенной в общую энергетическую информационную систему. Авторы выделяют потенциал для оптимизации отдельных элементов и структур с целью усовершенствования передачи и обработки данных на множественных уровнях. Основной фокус исследования направлен на адаптацию энергетического сектора к условиям цифровой экономики через применение предиктивных алгоритмов потребления продукции. Значение исследования для практического применения обусловлено возможностью интеграции разработанных решений в процесс модернизации предприятий, участвующих в национальной производственной системе, в контексте широкомасштабной цифровизации экономических процессов. Как пример успешной реализации такого подхода приводится опыт, демонстрирующий практическую применимость и эффективность внедрения инновационных цифровых технологий в стандартные процедуры управления и прогнозирования в энергетической отрасли.

Ключевые слова

энергия, промышленность, моделирование, прогнозирование, экономика.

Введение

В эру цифровых трансформаций экономической сферы происходит не просто отказ от устаревших методик ведения бизнеса, заменяемых инновационными сервисами, но и заметное уменьшение операционных расходов за счет оптимизации трудозатрат. Такой подход исключает возможные препятствия к инновациям, связанные с человеческим фактором. Дигитализация экономики, таким образом, превращается в применение передовых технологий управления и эффективного обмена данными между участниками рынка (Hong, 2016).

В контексте энергетической отрасли ключевая задача заключается в синхронизации потребления энергии с действующими контрактами, заключенными с производителями (Zhou, 2013). При модернизации производства важно учитывать снижение потребления ресурсов добывающими компаниями, что предполагает пересмотр установленных договоренностей о поставках. Актуализация вопросов точного прогнозирования поставок, включая первичные энергоресурсы, становится неизбежной (Pesznyák, 2007). Однако оценки, основанные исключительно на данных одного предприятия, не способны обеспечить достоверность прогнозов, подчеркивая необходимость разработки общенациональной стратегии потребления (Urbach, 2019).

В условиях экономических колебаний, спровоцированных переходом к производственному сектору, агентный метод прогнозирования выделяется своей актуальностью (Bieser, 2018). Этот подход базируется на детально разработанных стандартах для различных услуг и производственных процессов, таких как отопление, вентиляция, водоснабжение, освещение и обеспечение энергоэффективности зданий, в том числе строительных норм и стандартов (Varela, 2018). Отдельные сектора производства подпадают под строгие нормативы использования ресурсов для создания конечных товаров (Traunmüller, 2017).

Затраты энергии на производство товаров могут варьироваться в зависимости от используемых технологий, причем существует тенденция к их снижению при переходе к более продвинутым и эффективным методам. В качестве индикаторов энергетической эффективности выступают такие параметры, как энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП), энергоемкость валовой добавленной стоимости (ВДС) и энергоемкость конкретной продукции, учитывая возможности для сокращения энергопотребления. Наш прогностический подход классифицируется как нормативно-целевой, предполагая установление определенных стандартов энергоемкости ВВП, НДС или производства отдельных товаров и услуг. Это включает в себя регулирование удельных затрат энергии на различных уровнях иерархии с целью не только соблюдения стандартов производства и предоставления услуг, но и внедрения мер по повышению энергоэффективности и минимизации использования дефицитных энергоресурсов (Salminen, 2017).

Не менее важным является учет особенностей современного экономического планирования, главной целью которого является генерация дополнительного продукта и прибавочной стоимости на разных уровнях кооперации. В контексте глобализации экономики стратегии прогнозирования должны способствовать выявлению перспективных направлений индустриального развития и предварительному заключению контрактов на поставку необходимых мощностей (Wittmann, 2017). При этом требуется модернизация подходов к учету экологических аспектов, направленных на сокращение потребления энергетических ресурсов и одновременное повышение производительности промышленности. Особое внимание следует уделить анализу энергопотребления населением, где действуют особые тарифы, часто используемые для перекрестного субсидирования.

В исследовании, выполненном Ли Хуйяном, Хайей Салах и Зиангом Чжаном (Li, 2017), был подробно изучен метод прогнозирования потребления энергетических ресурсов и электроэнергии в контексте структурных изменений экономики. Авторы утверждают о наличии непосредственной корреляции между уровнем потребления энергии и непрерывным ростом валового внутреннего продукта, подчеркивая прямую зависимость между динамикой экономического развития и объемами энергопотребления. Они рассматривают сокращение энергозатрат на единицу продукции как ключевой показатель экономической эффективности, подчеркивая, что низкая энергоемкость производства способствует увеличению прибыли и укреплению конкурентоспособности продукции без дополнительных государственных субсидий. Тем не менее, данная модель применима преимущественно к отраслям массового производства, располагающимся внутри насыщенных рынков и не требующим нового позиционирования. Она не учитывает специфику стратегически значимых секторов экономики, где высокая энергоемкость нередко связана с вопросами национальной безопасности и суверенитета.

В свою очередь, Вэй-Цзян Хонг (Hong, 2017) в своем исследовании представил результаты использования двухуровневого подхода к прогнозированию потребления энергии, учитывающего

возможности энергосбережения, вытекающие из структурных трансформаций экономики. Он акцентировал внимание на важности привязки производственных процессов к источникам энергии, предлагая, чтобы энергоемкость продукции соответствовала рыночным ценам на энергоресурсы, особенно в условиях государств, зависящих от импорта энергии и использующих ее в основном для нужд населения (Агун, 2018). Этот подход подчеркивает необходимость более тесной связи между энергетической структурой и экономическими процессами, особенно в контексте стран с высокой долей импорта энергоресурсов.

В аналитическом обзоре Рольфа Фришкнехта (Frischknecht, 2018) поднимается вопрос о прогнозировании конечного потребления топливно-энергетических ресурсов, дополняя его анализ потребления для энергетических целей, включая неэнергетические расходы и потери. Автор настаивает, что задача государства не столько в ограничении использования внешних энергоресурсов или их приобретении по сниженным ценам, сколько в оптимизации использования доступных ресурсов и минимизации неизбежных потерь, возникающих не столько из-за действий конечных пользователей, сколько из-за недостатков в технологиях. Проблема, по мнению Фришкнехта, лежит в плоскости хозяйственной деятельности и может быть решена за счет простых технологических усовершенствований, финансируемых из внутренних резервов предприятий, особо подчеркивая значение индивидуального подхода к развитию технологий, где возможности сокращения потерь встраиваются в систему как сервис.

Трактовка конечного потребления топлива, описанная в работе Чоудхури (Choudhury, 2018), охватывает использование топлива во всех аспектах потребления, за исключением его переработки в другие виды энергии или неэнергетических целей. Этот анализ подчеркивает, что вопросы интеграции нетрадиционных источников энергии остаются открытыми, поскольку их потенциал в настоящее время реализуется лишь частично и не способен в полной мере удовлетворить потребности промышленности из-за отсутствия необходимых устойчивых мощностей. Считается, что такие источники следует рассматривать как часть потребительского сегмента рынка энергоресурсов, и их вклад в спрос на энергию не должен игнорироваться в официальной статистике.

В контексте различных методик составления энергетических балансов, как указано в исследованиях Хайята (Khayyat, 2018), включение неэнергетического использования ресурсов, как это принято в Международном энергетическом агентстве (МЭА), или учет потерь, по методике Евростата, отражает разнообразие подходов к определению конечного потребления. Кроме того, в системе национальных счетов (СНС) выделяются «категории конечного использования ВВП по функциональным классификациям», включающие расходы домашних хозяйств, расходы государственного сектора и некоммерческих организаций, обслуживающих домашние хозяйства, что демонстрирует многоуровневость и сложность в определении конечного потребления энергоресурсов в экономике (Beaumont, 1982).

Согласие с теорией Джона Бомонта, выдвинутой еще в 1982 году относительно применения симуляционных моделей для анализа энергообеспеченности крупных государств, находит подтверждение в современной практике учета и исполнения международных энергетических соглашений, применимых в различных странах. Для РФ, как для государства, исторически связанного с практиками директивного планирования в рамках социалистического лагеря, данный метод особенно актуален.

В финансовом аспекте категория конечного потребления включает в себя траты домохозяйств, расходы государственного аппарата и некоммерческих организаций, направленные на обслуживание населения. В энергетической же плоскости конечное потребление охватывает все сферы экономической деятельности и жизнедеятельности граждан (Soares, 2016). Разделение потребления электричества и тепла на производственные и бытовые нужды демонстрирует необходимость выработки интегрированного восприятия энергопотребления, способствующего росту спроса как в потребительском секторе, так и среди юридических лиц и предприятий, обеспечивающих инфраструктурное развитие и реализацию масштабных стратегий регионального усовершенствования.

Подход, основанный на глубоком анализе долгосрочной динамики энергопотребления, способен обеспечить целесообразное и экономически оправданное использование энергетических ресурсов.

Необходимо создать систему, способную анализировать взаимодействие между промышленным сектором и частными потребителями в контексте их энергопотребления, выявляя пути минимизации нецелесообразного использования энергетических ресурсов и исследуя возможности для всестороннего управления этим процессом. Мы убеждены в целесообразности применения агентно-ориентированного моделирования, которое способно обеспечить комплексную реализацию инициатив, направленных на стимулирование экономического прогресса на уровне государства. В свете этого, агентное моделирование предполагает разработку масштабных программ развития, основанных на сценарном планировании. Это, в свою очередь, подразумевает определение и систематизацию исследовательских методик.

Материалы и методы исследования

Интеграция концепций цифровой трансформации и эволюции производственного сектора привела к формированию определения потребления энергетических ресурсов, которое будет применяться в данной работе. Под этим понимается общий объем использования энергии, включая ее преобразование и потери. Конечным потреблением считается использование энергоресурсов домашними хозяйствами, а также секторами, связанными с государственным управлением и обороной, обязательным социальным страхованием и деятельностью домашних хозяйств (San Martin, 2017). В частности, использование угля или природного газа в нагревательных устройствах промышленного назначения мы относим к категории расходов на преобразование топлива в другие формы энергии (например, в тепловую). Такой подход к определению конечного потребления накладывает необходимость методических корректировок при анализе потенциала для энергосбережения в контексте структурных сдвигов в экономике и прогнозирования энергопотребления в свете этих изменений (Liu, 2016).

Относительно различных секторов экономической деятельности, исключая секцию D, касающуюся поставок электроэнергии, газа, пара и услуг по кондиционированию воздуха, прогнозные уровни потребления разнообразных видов топлива и энергии определяются на основе специфической формулы:

$$E_{ij}^{tl} = \sum_i e_{VDVij}^b V_{VDVi}^{tl} \pm \sum_i \Delta e_{ij}^{b-tl} V_{VDVi}^t - \sum_{i=1}^I \Delta e_{ij}^{tl} V_{VDVi}^{tl} \pm E_{zamj}^{tl} \quad (1)$$

где e_{VDVij}^b – угле-, газо-, электроемкость VDVj – вида топлива или энергии в базовом году и сектора экономики (укрупненного вида экономической деятельности), определяется по формуле:

$$e_{VDVij}^b = P_{ij}^b / V_{VDVi}^b \quad (2)$$

где P_{ij}^b – объем потребления j-вида топлива или энергии i-сектором экономики в базовом году;

V_{VDVi}^b – объем VDV, созданного в i-секторе экономики за базовый год;

V_{VDVi}^{tl} – прогнозные объемы VDV i-сектора экономики в постоянных ценах (приведенных к ценам базового года);

Δe_{ij}^{b-tl} – изменение энергоемкости VDV j-вида топлива или энергии i-сектора экономики от изменения прогнозной структуры валовой добавленной стоимости, которая исчисляется по методике, разработанной нами ранее;

Δe_{ij}^{tl} – снижение энергоемкости VDV j-вида топлива или энергии при внедрении мероприятий по энергосбережению в технологиях в году tl, относящихся по виду деятельности к сектору i;

$E_{замj}^{tl}$ – объемы возможного замещения j-вида топлива или энергии в прогнозном году tl.

Для секции D прогнозные уровни потребления топлива (угля, природного газа) определялись в зависимости от прогнозной структуры электро- и теплогенерирующих источников и прогнозной потребности экономики в электрической и тепловой энергии:

$$E_{jD}^{tl} = \sum_{l=1}^n Bw_{ff}^{tl} + \sum_{m=1}^n Bq_{mj}^{tl} + \sum B e_{inj}^{tl} = k_{lj} w_f^{tl} b_{wj}^{tl} + k_{mj} q_m^{tl} b_{qi}^{tl} + k_{inj} b_{in}^{tl} \quad (3)$$

где E_{jD}^{tl} – потребность в j-виде топлива для систем электроснабжения, теплоснабжения, газоснабжения и др. (секция D по ВЭД);

Bw_{ff}^{tl} – расход j-вида топлива на электрогенерацию f-типа (ТЭС, ТЭЦ, др. электрогенераторы на органическом топливе) в прогнозном году tl;

Bq_{mj}^{tl} – расходы j-того вида топлива на теплогенерацию m-типа (ТЭС, ТЭЦ, др. теплогенератор на органическом топливе) в прогнозном году tl;

$\sum B e_{inj}^{tl}$ – другие потребности j-вида топлива в секции D (газоснабжение, поставка кондиционированного воздуха);

k_{lj} – доля электроэнергии, произведенная электрогенерирующими мощностями с использованием j-вида топлива;

w_f^{tl} – объем электроэнергии-брутто, выработанной электрогенерирующими мощностями f-типа в году tl;

b_{wj}^{tl} – удельные расходы j-того вида топлива на производство электроэнергии в энергосистеме в tl году;

k_{mj} – доля тепловой энергии, произведенная теплогенерирующими мощностями с использованием j-вида топлива;

q_m^{tl} – объем тепловой энергии, производимой теплогенерирующими мощностями m-типа в году;

b_{qi}^{tl} – удельные расходы j-того вида топлива на производство тепловой энергии в системе централизованного теплоснабжения в tl году;

k_{inj} – доля j-вида топлива, используемая в секции D на другие нужды;

b_{in}^{tl} – расход органического топлива на другие нужды в секции D в tl году.

Оценка прогнозных уровней использования топлива и электроэнергии на макроуровне (ТОР-уровень) строится на основе формул (1)–(3), которые интегрируют предварительные оценки энергоемкости валовой добавленной стоимости (ВДС) страны и общего объема ВДС. Это обусловлено различной долей участия населения в потреблении отдельных видов энергоресурсов, что, в свою очередь, оказывает разнонаправленное влияние на общий объем потребления. Например, доля угля, используемого населением, составляет лишь 1% от его общего потребления, тогда как в случае с природным газом эта доля достигает 30%.

$$e_{VVP}^{it} = \frac{\sum E_{ij}^{it} + E_{jd}^{it}}{V_{VVP}^{it}} \quad (4)$$

Прогнозирование на уровне всей страны (ТОР-уровень) также может основываться на оценках энергоемкости валового внутреннего продукта (ВВП), где при расчете (в числителе) не принимается во внимание потребление энергии населением. Компоненты числителя вычисляются согласно формулам (1) и (3), а в качестве знаменателя выступает прогнозируемый ВВП страны за соответствующий год.

В контексте валовой добавленной стоимости (ВДС) в отличие от ВВП, налоги и субсидии, которые не связаны с энергопотреблением, остаются за рамками учета, делая расчеты прогнозов на верхнем и нижнем уровнях более точными, если они базируются на показателях НДС и соответствующей ей энергоемкости. Для достижения максимальной точности, прогнозы, сформированные на обоих уровнях, подвергаются дополнительной корректировке с использованием комплексного подхода. Однако, предложенная методика находит свои ограничения в случаях, когда необходимо синхронизировать прогнозы на уровне страны и по видам экономической деятельности без учета ранее включенного в анализ потребления населения как отдельного экономического сектора.

В соответствии с принятой методикой, на первом этапе формируются прогнозы потребления энергетических ресурсов как на общегосударственном (ТОР), так и на отраслевом (DOWN) уровне, применяя нормативно-целевой подход (с использованием формул (1)–(4)). На каждом этапе прогнозного периода (t) создается вектор показателей потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), исходя из предполагаемых значений ВВП и НДС:

$$F(t_i) = [F_T(t_i), F_{d1}(t_i), F_{d2}(t_i), \dots, F_{dn-1}(t_i)] \quad (5)$$

где $F_T(t_i)$ – прогноз энергопотребления ТОР- уровня для заданного показателя ВВП на этапе $t = t_i$;

$F_{di}(t_i)$ – прогноз энергопотребления i-сектора (вида экономической деятельности согласно классификатору ВЭД) DOWN-уровня для заданного показателя НДС на этапе $t = t_i$; $i = 1, n - 1$.

После формирования векторов прогнозных величин энергопотребления для выбранных лет определяется сумма секторальных показателей – прогноз потребления топлива или энергии по всем ВЭД:

$$F_d(t_i) = \sum_{i=1}^{n-1} F_{di}(t_i) \quad (6)$$

и разница между полученным показателем энергопотребления на уровне страны и суммой энергопотребление за ВЭД:

$$R(t_i) = F_T(t_i) - F_d(t_i) \quad (7)$$

После этого секторальные прогнозы энергопотребления, входящих в выходной вектор $F_{di}(t_i)$ из уравнения (5), агрегируются путем объединения видов экономической деятельности в укрупненные секторы и определяется их минимальное количество:

$$k(t_i) = \frac{F_d(t_i)}{F_{di}(t_i)_{\max}} \quad (8)$$

где, кроме указанных выше величин, $F_{di}(t_i)_{\max}$ - наибольшее по значению энергопотребление i-видов экономической деятельности.

Величина $k(t_i)$, как правило, является нецелым числом. В дальнейших расчетах используется целая часть $[k(t_i)]$ и остаток:

$$\Delta n(t_i) = k(t_i) - [k(t_i)] \quad (9)$$

С использованием коэффициента (8) определяются минимальная и максимальная размерность секторов, в которые объединяются укрупненные ВЭД, с учетом уравнения для TOP-уровня:

$$n_{\min}(t_l) = [k(t_l)] + 1 \quad (10)$$

$$n_{\max}(t_l) = n_{\min}(t_l) + 1 \quad (11)$$

Уточненным показателем, который обеспечивает совпадение показателей энергопотребления TOP- и DOWN-уровней, является такое уравнение:

$$Y_t(t_l) = F_t(t_l) - S(n(t_l))R(t_l) \quad (12)$$

в котором используется константа $S(n(t_l))$, протабулированная до $n = 20$, значение которой приведено, и величина $R(t_l)$, рассчитываемая по выражению (7).

С использованием уравнения (12) рассчитываются уточняющие показатели: $Y_t(t_l, n_{\min}(t_l))$ и $Y_t(t_l, n_{\max}(t_l))$, и потом в случае нецелых значений – окончательное значение показателя энергопотребления TOP-уровня:

$$Y_t(t_l) = Y_t(t_l, n_{\min}(t_l))(1 - \Delta n(t_l)) + Y_t(t_l, n_{\max}(t_l))\Delta n(t_l) \quad (13)$$

Значения всех показателей энергопотребления DOWN-уровня определяются по зависимости:

$$Y_{di}(t_l) = q(t_l)F_{di}(t_l) \quad (14)$$

где коэффициент $q(t_l)$, уточняющий значение уровней потребления по ВЭД, вычисляется по формуле:

$$q(t_l) = \frac{Y_t(t_l)}{F_{di}(t_l)}, i = 1, n - 1 \quad (15)$$

$F_{di}(t_l)$ – прогнозное значение потребления топлива или энергии в период tl .

Отдельно определяется прогноз потребления топлива и электроэнергии для населения по следующей зависимости:

$$P_j^{tl} = (b_j^b - \Delta b_j^{tl})N^{tl} \pm E_j^{tl} \quad (16)$$

Где b_j^b – удельные затраты j -вида топлива или энергии, потребленных населением в базовом году;

Δb_j^{tl} – снижение удельных затрат j -вида топлива при условии внедрения энергосберегающих мероприятий в домохозяйствах в году tl ;

N^{tl} – прогнозная численность населения;

E_j^{tl} – объемы возможного замещения j -вида топлива или энергии более дешевыми в домохозяйствах в прогнозном году tl .

Наш метод интегрирует анализ цен на энергетические ресурсы с моделированием действий как поставщиков энергии, так и основных потребителей — электростанций, отопительных станций, промышленных предприятий, транспортного сектора и домохозяйств — основываясь на динамике цен и потенциальных ограничениях поставок энергоресурсов в регион. Эта модель была отобрана экспертами из Института экономики Сибирского отделения Российской академии наук для прогнозирования потребления энергии по регионам России (Гальперова, 2018) и показала свою эффективность, успешно реализовавшись в 87% случаев.

Для решения этой задачи разработана система, включающая модель прогнозирования цен на топливо и серию Имитационных Стохастических Статических Моделей (ИССМ) для различных потребительских групп. Эти модели объединяют в себе оптимизационные подходы и методы статистического анализа, в частности метод Монте-Карло, позволяющий учитывать неопределенность будущих условий. Модели характеризуются применением различных распределений для оценки вероятности показателей в заданном диапазоне, определяемых экспертным путем (равномерное, нормальное, логнормальное распределение и т.д.). В моделях учитывается «потребительский эффект», то есть как тип и качество топлива влияют на технико-экономические характеристики потребления, а также потенциальные изменения в производственных технологиях и использовании топлива, включая возможные ограничения на поставку различных видов топлива в регион.

Результаты и обсуждение

Применяя детализированный подход к оценке будущего потребления топливных ресурсов и энергии, а также разработанную алгоритмическую модель, были составлены прогнозы использования электроэнергии, природного газа и угля. При этом особое внимание уделено оценке возможностей для снижения энергопотребления, связанных со структурными изменениями и внедрением новых технологий. Ожидаемый эффект от энергосбережения был интегрирован в расчеты будущих потребностей в энергии.

В разбивке по секторам потребления электроэнергии наибольшую часть занимает промышленность (43-63%), однако за период с 2001 по 2018 год наблюдалось уменьшение ее доли на 13%. Доля потребления электроэнергии домохозяйствами, напротив, увеличилась с 15,8% до 30,7%. Также заметен рост использования электроэнергии в других видах экономической деятельности с 7,5% до 17,7%, в то время как в транспорте зафиксировано небольшое сокращение с 6,4% до 5,7%. Доля строительства в общем объеме потребления осталась неизменной – 0,6%, а сельское хозяйство показало уменьшение с 3,1% до 2,8%.

Расчет потребления электроэнергии на национальном уровне осуществлен согласно упомянутой методике, включая формулы (1)–(4), прогнозы объемов валового внутреннего продукта (ВВП) и валовой добавленной стоимости (ВДС) по отраслям до 2040 года, а также учет электроемкости ВДС на основе данных за базовый 2018 год с прогнозируемыми мерами по энергосбережению. Ожидается, что общий объем потребления электроэнергии увеличится почти в 2,34 раза к 2040 году. С учетом энергосберегающих мер, связанных со структурными преобразованиями, предполагается рост в 2,12 раза, а при дополнительном учете технологических усовершенствований – вдвое при увеличении ВВП в 2,3 раза по сравнению с уровнем 2018 года.

Таблица 1. Текущий спрос на виды электроэнергии в среднем регионе РФ в 2018 г.

Показатель	2014	2015	2016	2017	2018
TOP-уровень нормативным методом (без населения)	46379,14	49870,04	52494,78	55845,51	57572,69
DOWN-уровень нормативным методом (без населения)	45458,08	49125,29	51970,68	55565,79	57572,18
TOP-уровень комплексным методом (без населения)	44556,11	48392,52	51452,73	55288,45	57572,69
DOWN-уровень комплексным	43671,27	47669,83	50939,04	55011,52	57572,18

методом (без населения), в т. ч. по секциям ВЭД					
сельское хозяйство	1739,478	1908,287	2049,405	2224,373	2339,61
добывающая промышленность	2185,627	2409,782	2600,99	2837,236	2999,22
перерабатывающая промышленность	22957,27	25438,93	27595,4	30253,14	32141,06
поставки электроэнергии, газа и т.д	7446,482	8292,904	9041,104	9961,668	10636,5
транспорт и др.	3269,629	3659,577	4009,8	4440,278	4764,9
другие ВЭД	3154,948	3548,963	3908,141	4349,453	4690,889
Потребление населением	16833,8	19031,3	21062,7	23558,92	25536
Валовое потребление по ВЭД и населению – нетто	53699,24	61014,25	67866,24	76290,78	83108,69
Валовое потребление по ВЭД и населению – брутто	66699,35	76166,09	85145,38	96195,83	105319,2
Экспорт	1572,074	1804,222	2027,059	2301,645	2532,6
Спрос на электроэнергию	65618,46	75686,77	85462,04	97526,42	107851,8

В рамках отдельных секторов экономической деятельности (ВЭД) возможности для сокращения энергопотребления за счет структурных изменений оценивались путем анализа динамики структуры экономики на протяжении прогнозного периода. Используя методику, описанную в пунктах (1)–(4), для каждой категории ВЭД был рассчитан потенциал энергосбережения, учитывая уже определенные возможности по сокращению энергопотребления в различных сферах экономической деятельности. Обобщая данные по каждому из агрегированных секторов, были получены результаты, отраженные в таблице 2, демонстрирующие совокупный потенциал энергосбережения на уровне ВЭД.

Таблица 2. Прогноз спроса на электроэнергию в среднем регионе РФ к 2040 г. с учетом структурного и технологического энергосбережения и экспорта, млн кВт/год

Показатель	2020	2025	2030	2035	2040
TOP-уровень нормативным методом (без населения)	64208,33	77234,79	86805,78	102744,3	115535,3
DOWN-уровень нормативным методом (без населения)	64548,24	74773,46	88079,47	104108,1	116584,6
TOP-уровень комплексным методом (без населения)	64353,49	76211,56	87323,78	103293,9	115958,3
DOWN-уровень комплексным методом (без населения), в т. ч. по секциям ВЭД	64353,48	76211,56	87323,78	103293,9	115958,3

сельское хозяйство	2679,425	3346,945	3992,919	4876,452	5553,912
добывающая промышленность	2834,419	3094,637	3452,064	3262,777	3547,467
перерабатывающая промышленность	34313,5	37783,81	40066,58	45986,07	51666,03
поставки электроэнергии, газа и т.д	13399,34	17884,85	22270,41	27277,54	31226,69
транспорт и др.	5681,998	7457,66	9488,906	11894,49	12600,88
другие ВЭД	5444,803	6643,644	8052,905	9996,567	11363,32
Потребление населением	24551,59	23567,25	22582,84	22524,95	22524,95
Валовое потребление по ВЭД и населению – нетто	91009,31	102514,4	112852	128975,1	141850,2
Валовое потребление по ВЭД и населению – брутто	114671,7	128143,1	139936,5	158639,5	173057,3
Экспорт	6300	8400	11200	12600	14000
Спрос на электроэнергию	120971,7	136543,1	151136,5	171239,5	187057,3

Применение усовершенствованного методологического подхода для оценки будущего спроса на топливо и энергию обеспечило расчет прогнозных показателей потребления электричества, газа и угля, учитывая эффективность, связанную с изменениями в структуре и технологиях экономики. В результате было выявлено, что различия между оценками на макро- и микроуровнях не превышают 3%. При помощи комплексного прогностического метода, реализованного через специально разработанную математическую модель, были получены данные о потреблении электроэнергии, используя серию уравнений (5)–(15), которые продемонстрировали высокую степень согласованности результатов, полученных на различных иерархических уровнях. Дополнительно к этому координированному прогнозу были добавлены оценки потребления электроэнергии населением до 2040 года, основанные на прогнозах демографического развития и предполагаемых мерах по повышению энергоэффективности (например, замена бытовой техники на более современные и эффективные модели). Обобщенные данные (чистое потребление) были интегрированы с учетом уровней потребления по ВЭД и демографическим показателям. Далее были учтены потери электроэнергии в процессе транспортировки через магистральные и межгосударственные сети, в распределительных сетях и на внутренние нужды, определяя таким образом общий спрос на электроэнергию в виде брутто-потребления. Затем были рассмотрены объемы экспорта электроэнергии за рубеж, что позволило окончательно выявить общий спрос на электричество (см. табл. 2).

Анализ формы статистических наблюдений показал, что в 2018 году на превращение было использовано 34% природного газа от его общего потребления, 2,3% ушло на собственные нужды энергетического сектора, 9% использовалось не по энергетическому назначению, 16,6% составило конечное потребление, 35,6% было реализовано населению, а 1,95% потеряно.

При расчете будущего потребления природного газа были учтены следующие структурные сдвиги в экономике: рост доли ВДС сельского хозяйства на 1%, транспорта на 1,5%, других секторов ВЭД на 4% при одновременном уменьшении доли промышленности на 4,5%, включая добывающую промышленность на 2,2% и перерабатывающую на 3,3%. Такие структурные изменения предполагают экономию потребления газа до 2,2 млрд м³ к 2040 году. Расчет потребления газа на национальном уровне был осуществлен согласно упомянутой методике, прогнозам по ВВП и ВДС с учетом ВЭД до 2040

года, газоемкости ВДС страны на базовый год, при учете структурных изменений и технологической эффективности. Прогноз потребления газа на уровне страны представлен в табл. 3.

Таблица 3. Прогноз спроса на природный газ в среднем регионе РФ до 2040 г. с учетом структурного и технологического энергосбережения, млн м³

Показатель	2020	2025	2030	2035	2040
TOP-уровень нормативным методом (без населения)	15894,65	17762,1	20314,52	23328,24	25941,74
DOWN-уровень нормативным методом (без населения)	15634,68	14820,65	14893,59	15743,35	17171,18
TOP-уровень комплексным методом (без населения)	15789,12	16610,55	18189,85	20321,53	22451,32
DOWN-уровень комплексным методом (без населения), в т. ч. по секциям ВЭД	15789,11	16610,55	18189,85	20321,53	22451,31
сельское хозяйство	270,963	365,113	480,081	605,528	679,882
добывающая промышленность	1366,33	1564,269	1765,575	1998,171	2157,106
перерабатывающая промышленность	5585,433	6379,051	7439,481	8594,026	9608,921
Поставки электроэнергии, газа и т. д.	7198,03	6771,142	6723,367	7111,419	7889,588
транспорт	766,472	728,49	720,93	661,15	572,11
другие ВЭД	601,86	802,48	1060,43	1351,21	1543,71
Потребление населением	6470,1	6001,8	5590,2	5490,8	5418,7
Спрос на природный газ	22259,16	22612,38	23780,19	25812,29	27869,8

Применение доработанного подхода к оценке будущего потребления топливных ресурсов включало анализ энергосберегающего потенциала, основываясь на структурных изменениях и технологических инновациях в сфере экономической деятельности (ВЭД). Прогноз показал, что к 2025 году ожидается сокращение использования природного газа в отдельных ВЭД до 6,3 млрд кубометров, с последующим увеличением до 8,1 млрд кубометров к 2040 году. Также предвидится уменьшение потребления газа со стороны домохозяйств благодаря переходу на альтернативные источники энергии, установке более эффективного оборудования, улучшению теплоизоляции зданий и принятию других мер по повышению энергоэффективности. Ожидается, что после 2025 года потребление газа возрастет из-за роста промышленного производства, в то время как дальнейшее увеличение потребления газа населением не прогнозируется. Расчеты прогнозных уровней потребления газа по секторам экономики отражены в таблице 2.

Различие между верхними и нижними уровнями прогноза составило до 34%. Для достижения консенсуса между данными прогнозами применялся комплексный метод, обеспечивающий внушительную степень совпадения результатов, анализируемых на разных уровнях. В результате к согласованным данным было добавлено предполагаемое потребление газа населением, рассчитанное на основе демографических тенденций и мер по повышению энергоэффективности, а также перехода на электроэнергию и другие виды топлива. Сводные результаты представлены в таблице 2.

Согласно статистическому отчету «Использование энергетических ресурсов и продуктов переработки нефти за 2018 год», в среднем регионе РФ было использовано 15094,96 тыс. тонн угля, включая потери в размере 1,3 тыс. тонн. В детализации по ВЭД общий объем потерь составил 182,36 тыс. тонн, в том числе 181,2 тыс. тонн приходится на добывающую промышленность, а 1,3 тыс. тонн – на транспортировку и распределение в энергетическом секторе. В целом, с учетом всех направлений использования и потерь, общее потребление угля достигло 15276,2 тыс. тонн. Анализ структуры потребления угля показал, что основными его потребителями являются энергетический сектор (50-60%) и перерабатывающая промышленность (30-40%).

В анализе использования угля за 2018 год по ключевым секторам экономической деятельности выявлено, что 22,2% всего угля пришлось на коксующийся уголь. Основное применение, 83% от всего объема, нашло свое место в энергогенерации: на промышленных теплоэлектростанциях (ТЭС), теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) и в котельных сельскохозяйственного назначения, а также в секторах добывающей промышленности и других направлениях экономической деятельности. В сфере переработки, 99% угля по объему, задействованного в преобразовательных процессах (или 67% от общего потребления), пошло на коксование. Дополнительно, 32% от всего потребленного объема угля расходуется в промышленных печах металлургии (79%) и в производстве цемента (20,3%). Транспортный сектор использовал 37% угля для сжигания в котельных и 63% как топливо для «прочих нужд», согласно статистической отчетности. Доля угля, потребленного населением в 2018 году, составила 161,4 тыс. тонн, что эквивалентно 1% от общего объема потребления.

При формировании прогнозов уровней потребления угля были использованы данные об углеемкости валовой добавленной стоимости (ВДС) за 2018 год, прогнозы валового внутреннего продукта (ВВП) и ВДС до 2040 года, а также учет энергосберегающего потенциала, связанного со структурными и технологическими сдвигами. Анализ предполагаемых структурных изменений в экономике предвидит увеличение доли ВДС для аграрного сектора на 1%, транспорта на 1,5% и других отраслей на 4%, при снижении доли промышленного сектора на 4,5%, включая сокращение в добывающей промышленности на 2,2% и в перерабатывающей на 3,3%. Такая перестройка структуры предполагает снижение потребления угля на 10,4 миллиона тонн к 2040 году. Основываясь на актуальных данных об использовании угля и тенденциях изменения потребления за последние два года, были определены ключевые направления для сокращения потребления и оценены их потенциалы к 2040 году. Прогноз потребления угля в среднем регионе РФ на общегосударственном уровне к 2040 году представлен в таблице 4.

Таблица 4. Прогноз спроса на уголь в среднем регионе РФ к 2040 г. с учетом структурного и технологического энергосбережения, тыс. т

Показатель	2020	2025	2030	2035	2040
TOP-уровень нормативным методом (без населения)	34432,51	39700,5	46320,19	54421,5	61131,07
DOWN-уровень нормативным методом (без населения)	35131,5	31187,87	39855,41	47974,5	53343,64
TOP-уровень комплексным методом (без населения)	31365,07	35968,47	43401,38	51482,99	57582,36
DOWN-уровень комплексным методом (без населения), в т. ч. по секциям ВЭД	31365,08	35968,48	43401,37	51482,99	57582,36
сельское хозяйство	129,675	151,088	164,192	183,421	207,662

добывающая промышленность	549,185	513,359	488,026	351,225	323,022
перерабатывающая промышленность	13192,49	14289,18	14941,73	16888,09	9014,43
Поставки электроэнергии, газа и т. д	17202,92	20682,27	27433,18	33638,77	37593,73
транспорт	26,551	33,845	41,79	51,45	56,091
другие ВЭД	264,25	298,732	332,465	370,048	387,429
Потребление населением	281,75	254,73	226,94	214,27	200,2
Спрос на уголь	31646,86	36223,18	43628,34	51697,24	57782,55

Прогноз потребления угля по отраслям экономики был выполнен на основе данных об углеемкости валовой добавленной стоимости (ВДС) различных секторов за 2018 год, с учетом крупнейших потребителей, прогнозируемых показателей ВДС до 2040 года, а также оценки возможностей для сокращения потребления за счет структурных и технологических инноваций. Анализ мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности в различных секторах экономики, был представлен ранее. Потребление угля населением было рассчитано исходя из удельного расхода угля на одного человека в 2018 году, прогноза демографического развития и ожидаемого эффекта от внедрения энергосберегающих технологий. Учитывая намеченные тенденции и возможное замещение природного газа углем в промышленном и коммунально-бытовом секторах, был составлен прогноз использования угля до 2040 года для различных секторов экономики и населения.

Различия между оценками на макро- и микроуровне варьировались от 11 до 21%, что объясняется разнообразием подходов к расчетам на этих уровнях. Для достижения единообразия в прогнозах были применены математические методы. Следуя изложенной методике и применяя комплексный подход, было выполнено увязывание данных о потреблении угля, полученных с учетом макроэкономических индикаторов для страны в целом и отдельных видов экономической деятельности. Совпадение данных прогнозов оказалось очень высоким. К итоговым расчетам был добавлен прогноз потребления угля населением, дополняя тем самым согласованный общий прогноз.

Для удовлетворения растущего спроса на электроэнергию концепция предусматривает ввод новых генерирующих мощностей в объеме порядка 10-12 ГВт к 2030 году, большая часть которых будет представлена высокоэффективными парогазовыми установками на природном газе и возобновляемыми источниками энергии. Доля последних в производстве электроэнергии к указанному сроку планируется на уровне 10% от совокупной выработки при оптимистичном сценарии развития отрасли. Такие масштабные инвестиционные проекты потребуют значительных капиталовложений, по предварительным оценкам, порядка 10-15 млрд долларов США.

Отдельный блок мероприятий в рамках государственной политики энергосбережения направлен на развитие института энергосервисных контрактов, позволяющих привлекать частные инвестиции в проекты по повышению энергоэффективности в бюджетном секторе и жилищно-коммунальном хозяйстве. Механизм энергосервисных контрактов основан на возврате вложенных средств инвестора за счет полученной экономии энергоресурсов и призван стимулировать масштабное внедрение энергоэффективных технологий в социальной сфере и жилищном фонде.

Таким образом, долгосрочное прогнозирование спроса на энергоресурсы является неотъемлемой частью стратегического планирования развития энергетической отрасли и базируется на комплексном анализе макроэкономических тенденций, структурных сдвигов в экономике, демографических трендов, а также оценке потенциала применения энергоэффективных технологий и возобновляемых источников энергии. Точность и обоснованность таких прогнозов во многом определяет эффективность инвестиционных решений в электроэнергетике и смежных отраслях, а также позволяет своевременно выявлять и предотвращать возможные риски энергодефицита. В

Одним из ключевых направлений совершенствования системы энергетической статистики в является внедрение автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) в распределительных электросетевых компаниях. По состоянию на конец 2022 года, по данным Министерства энергетики, системами АСКУЭ было охвачено порядка 70% потребителей электроэнергии в стране, при этом в городах Астана и Алматы этот показатель достиг 95%. Планируется, что к 2025 году доля потребителей, обеспеченных приборами автоматизированного учета, превысит 90% в целом по республике.

Использование АСКУЭ позволяет не только повысить точность и оперативность сбора данных об электропотреблении, но и создает предпосылки для внедрения гибких тарифных планов и реализации механизмов управления спросом. По оценкам экспертов, экономия электроэнергии за счет оптимизации режимов потребления и сокращения коммерческих потерь при полномасштабном внедрении "умных" систем учета может составить до 10-15% от текущего уровня потребления. Внедрение систем онлайн-мониторинга на базе технологий промышленного интернета вещей (IIoT) открывает новые перспективы для повышения надежности и эффективности функционирования энергосистемы.

Ключевые прогнозные индикаторы развития энергетики среднего региона РФ к 2030 году включают:

1. Рост потребления первичных энергоресурсов на 30-35% по сравнению с уровнем 2020 года, до 115-120 млн тонн нефтяного эквивалента.
2. Увеличение доли природного газа в структуре энергопотребления с 20% до 25-30%.
3. Повышение удельного электропотребления на душу населения до 7500-8000 кВт·ч в год.
4. Ввод новых генерирующих мощностей в объеме 10-12 ГВт, в том числе на базе возобновляемых источников энергии.
5. Снижение энергоемкости ВВП на 30-35% по сравнению с уровнем 2020 года.

Заключение

В данном исследовании осуществлена корректировка методологии оценки будущего спроса на энергетические ресурсы, включая переосмысление категории «конечного потребления» топлива и электроэнергии. Это привело к значительным изменениям в подходах к вычислению потенциала для сокращения энергопотребления, связанных со структурными трансформациями. Теперь необходимо учитывать будущую структуру генерирующих мощностей, детализацию секции «Транспорт», а также потребности в энергоресурсах, выделяя население как отдельную категорию потребителей с особой методикой прогнозирования, которая не участвует в первичных расчетах по уровням страны (TOP) и отдельных секторов экономики (DOWN), но интегрируется в итоговую оценку после гармонизации данных.

Разработаны усовершенствованные методы для прогнозирования потребления топлива и электроэнергии, опираясь на комплексный подход, и обновлены критерии для вычисления предполагаемого уровня потребления, используя нормативно-целевую методику. Анализ верхнего уровня спроса на энергию проводится через показатель энергоемкости ВДС страны, а нижний уровень – через агрегированные данные по потреблению топлива и электроэнергии в каждой сфере ВЭД, рассчитываемые на основе энергоемкости ВДС соответствующих секторов.

Затем, результаты подвергаются верификации с применением уточненного комплексного метода прогнозирования спроса, который особо отмечает этап согласования потребления энергии на уровне страны и по видам деятельности без учета потребления населением, добавляемого к итогам анализа отдельно. Этот подход позволяет отдельно учитывать динамику численности населения и тенденции в оснащении домохозяйств новейшими энергоэффективными приборами. На финальной стадии к результатам, полученным с помощью комплексного анализа, добавляется прогноз потребления энергии населением, и в итоговых данных учитывается прогнозируемый объем экспорта электроэнергии.

Список литературы

1. Гальперова Е.В., Кононов Д.Ю., Мазурова О.В. Долгосрочное прогнозирование спроса на топливо на региональных энергетических рынках с учетом неопределенности // Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление. 2018. № 1. С. 3-7.
2. Afonso Ó., Afonso S., Afonso I. Special Issue on energy economics: Demand, Prices and Welfare // Portuguese Economic Journal. 2016. Vol. 15(2). pp. 57-58.
3. Arun S.L., Selvan M.P. Smart residential energy management system for demand response in buildings with energy storage devices. *Frontiers in Energy*. 2018.
4. Beaumont J. A simulation model for U.K. energy demand // Operational Research Society. 1982. Vol. 33(6). 592 p.
5. Bieser J., Hilty L. An approach to assess indirect environmental effects of digitalization based on a time-use perspective. Ed. H.-J. Bungartz // *Advances and New Trends in Environmental Informatics*. Cham: Springer International Publishing, 2018. pp. 67-78.
6. Csilla P., Zaránd P., Mayer A. Digitalization and networking of analog simulators and portal images // *Strahlentherapie und Onkologie*. 2007. Vol. 183(3). pp. 117-120.
7. Frischknecht R. Cumulative energy demand in LCA: The energy harvested approach // *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2018. Vol. 20(7). pp. 957-969.
8. Hong W.-C. Evolutionary algorithms in SVR's parameter determination // *Intelligent Energy Demand Forecasting*, London: Springer London, 2016. pp. 41-92.
9. Ines V. Energy Is essential, but utilities? Digitalization: what does it mean for the energy sector? Ed. C. Linnhoff-Popien, R. Schneider, M. Zaddach // *Digital Marketplaces Unleashed*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018. pp. 829-838.
10. Khayyat N.T. Production function models estimation // *Energy Demand in Industry: What Factors Are Important?* Dordrecht: Springer Netherlands, 2018. pp. 109-128.
11. Li Huiyang L., Haya Salah H., Zhang Z. Erratum to: consumer electric energy management strategies and preferences in emergency demand response: results from a survey. Ed. S.M. Cetiner, P. Fechtelkotter, M. Legatt // *Advances in Human Factors in Energy: Oil, Gas, Nuclear and Electric Power Industries*. Cham: Springer International Publishing, 2017. E1-E1.
12. Liu Y. Seasonal relationship of peak demand and energy impacts of energy efficiency measures // *A Review of Evidence in the Electric Energy Efficiency Programmes*. Energy Efficiency. 2016. Vol. 9(5). pp. 1015-1035.
13. Martin S., Pablo J., Garcia-Alegre M.-G., Guinea D. Reducing thermal energy demand in residential buildings under spanish climatic conditions: qualitative control strategies for massive shutter positioning // *Building Simulation*. 2017. Vol. 10(5). pp. 643-661.
14. Nils U., Ahlemann F. Digitalization as a risk: security and business continuity management are central cross-divisional functions of the company // *IT Management in the Digital Age: A Roadmap for the IT Department of the Future*, Cham: Springer International Publishing, 2019. pp. 85-92.
15. Salminen Vesa S., Ruohomaa H., Kantola J. Digitalization and Big Data supporting responsible business co-evolution. Ed. J.I. Kantola, T. Barath, S. Nazir, T. Andre // *Advances in Human Factors, Business Management, Training and Education*. Cham: Springer International Publishing, 2017. pp. 1055-1067.
16. Scheer A.-W. Theses on digitalization. Ed. F. Abolhassan // *The Drivers of Digital Transformation: why there's no way around the cloud*. Cham: Springer International Publishing, 2017. pp. 33-43.
17. Shibabrata Ch., Patra A.K., Parida A., Chatterjee S. Renewable energy capacity estimation for indian energy sector using energy demand forecasting through fuzzy time series. Ed. S. SenGupta, A.F. Zobia, K.S. Sherpa, A.K. Bhoi // *Advances in Smart Grid and Renewable Energy*. Singapore: Springer Singapore, 2018. pp. 551-558.
18. Traunmüller R. Digitalization as Challenge for Electronic government. Ed. A. Keho, E. Francesconi // *Electronic Government and the Information Systems Perspective*. Cham: Springer International Publishing, 2017. Vol. 3-8.

19. Wittmann J. Electrification and digitalization as disruptive trends: new perspectives for the automotive industry? In «Phantom Ex Machina: Digital Disruption's Role in Business Model Transformation». Ed. A. Khare, B. Stewart, R. Schatz. Cham: Springer International Publishing, 2017. pp. 137-159.

20. Zhou Ji. Digitalization and intelligentization of manufacturing industry // *Advances in Manufacturing*. 2013. Vol. 1(1). pp. 1-7.

Approaches to the modernization of the energy industry to ensure the development of the digital economy

Ilya V. Samarin

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automation of Technological Processes

Gubkin Russian State University of Oil and Gas

Moscow, Russia

ivs@tpp.su

ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 09.11.2023

Accepted 25.12.2023

Published 15.02.2024

UDC 621.3

EDN GYCMXQ

VAK 4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

OECD 02.02.AC AUTOMATION & CONTROL SYSTEMS

Abstract

In the era of digitalization of economic processes, companies face the task of deeply transforming existing production resource allocation strategies and demand forecasting methods. Such a transformation implies a transition to integration into a single information space, which, in turn, can significantly improve the accuracy and efficiency of forecasting business activity. This transformation is becoming a cornerstone in the formation of sustainable development at the level of individual States. The scientific novelty of this study lies in the development of a methodology for creating a unified system for forecasting demand for product components in the energy industry, included in the general energy information system. The authors highlight the potential for optimizing individual elements and structures in order to improve data transmission and processing at multiple levels. The main focus of the research is aimed at adapting the energy sector to the conditions of the digital economy through the use of predictive algorithms for product consumption. The importance of the research for practical application is due to the possibility of integrating the developed solutions into the modernization process of enterprises participating in the national production system in the context of large-scale digitalization of economic processes. As an example of the successful implementation of this approach, the experience of the Republic of Kazakhstan is presented, demonstrating the practical applicability and effectiveness of the introduction of innovative digital technologies into standard management and forecasting procedures in the energy industry.

Keywords

energy, industry, modeling, forecasting, economics.

References

1. Galperova E.V., Konov D.Sh., Mazurova O.V. Long-term prognostic impact on the regional market, taking into account an unbiased // Energy of Russia in the XXI century. Innovative development and management. 2018. № 1. pp. 3-7.
2. Afonso O., Afonso S., Afonso I. Special issue on energy Economics: demand, prices and welfare // Portuguese Economic Journal. 2016. Vol. 15(2). pp. 57-58.
3. Arun S.L., Selvan M.P. Intelligent energy management system in residential premises to respond to demand in buildings with energy storage devices. *Frontiers in energy*. 2018.
4. Beaumont J. A simulation model of energy demand in the UK // *Society for Operational Research*. 1982. Vol. 33(6). 592 p
5. Bizer J., Hilty L. An approach to assessing the indirect environmental consequences of digitalization based on the assessment of time use. Edited by H.-J. Bungartz // *Achievements and new trends in environmental informatics*. Cham: Springer International Publishing House, 2018. pp. 67-78.
6. Chilla P., Zarand P., Mayer A. Digitization and creation of networks of analog simulators and portal images // *Drug therapy and oncology*. 2007. Vo. 183(3). pp. 117-120.
7. Frischknecht R. Aggregate energy demand in LCA: an approach based on energy collection // *International Journal of Life Cycle Assessment*. 2018. Vol. 20(7). pp. 957-969.
8. Hong U.-S. Evolutionary algorithms for determining SVR parameters // *Intelligent forecasting of energy demand*, London: Springer London, 2016. pp. 41-92.
9. Ines V. Energy is needed, but utilities? Digitalization: What does this mean for the energy sector? Edited by K. Linnhoff-Popien, R. Schneider, M. Zaddah // *Digital Marketplaces Unleashed*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018. pp. 829-838.
10. Hayat N. T. Evaluation of models of production functions // *Energy demand in industry: what factors are important?* Dordrecht: Springer, The Netherlands, 2018. pp. 109-128.
11. Li Huiyang L., Haya Salah H., Zhang Z. Correction to: Consumer strategies and preferences in the field of energy management in emergency response: survey results. Edited by S.M. Cetiner, P. Fechtelkotter, M. Legatt // *Achievements in the field of the human factor in the energy sector: oil, gas, nuclear and electric power industries*. Publishing house: Springer International Publishing, 2017. E1-E1.
12. Liu Yu. Seasonal interrelation of peak demand and energy consequences of energy efficiency measures // *Review of evidence in energy efficiency improvement programs in the electric power industry*. Energy efficiency. 2016. Vol. 9(5). pp. 1015-1035.
13. Martin S., Pablo H., Garcia-Alegre M.-G., Guinea D. Reducing the need for thermal energy in residential buildings in the climatic conditions of Spain: strategies for quality management of the placement of massive blinds // *Building modeling*. 2017. Vol. 10(5). pp. 643-661.
14. Niels W., Alemann F. Digitalization as a risk: managing security and business continuity - central intersectoral functions of a company // *IT management in the digital age: a roadmap for the IT department of the future*, Cham: Springer International Publishing, 2019. pp. 85-92.
15. Salminen Vesa S., Ruohomaa H., Kantola J. Digitalization and big data in support of responsible business development. I. Kantola, T. Barat, S. Nazir, T. Andre // *Achievements in the field of the human factor, business management, vocational training and education*. Cham: Springer International Publishing House, 2017. pp. 1055-1067.
16. Scheer A.-U. Abstracts on digitalization. Edited by F. Abolhassan // *The driving forces of digital transformation: why the cloud is not going anywhere*. Cham: Springer International Publishing, 2017. pp. 33-43.
17. Shibabrata Ch., Patra A.K., Parida A., Chatterjee S. Estimating the capacity of renewable energy sources for the Indian energy sector using forecasting energy demand using fuzzy time series. Ed. S. Sengupta, A.F. Zobia, K.S. Sherpa, A.K. Bhoj // *Achievements in the field of smart grids and renewable energy sources*. Singapore: Springer Singapore, 2018. pp. 551-558.
18. Traunmuller R. Digitalization as a challenge to e-government. Edited by A. Kehoe, E. Francesconi // *E-government and the prospects of information systems*. Cham: Springer International Publishing, 2017. Vol. 3-8.

19. Wittmann J. Electrification and digitalization as breakthrough trends: new perspectives for the automotive industry? In the book «The Phantom from the Machine: the role of digital technologies in the transformation of the business model». Ed. by A. Hare, B. Stewart, R. Shatz. Cham: Springer International Publishing House, 2017. pp. 137-159.

20. Zhou Ji. Digitalization and intellectualization of the manufacturing industry // Achievements in the manufacturing industry. 2013. Vol. 1(1). pp. 1-7.