

В.И. Колибаба, К. Иобуэ

**ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЫ
ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ РЕСПУБЛИКИ КОТ-Д'ИВУАР
НА ОСНОВЕ ТАРИФНОГО ФАКТОРА**

V.I. Kolibaba, K.H. Yoboue

**JUSTIFICATION OF PROSPECTIVE STRUCTURE
OF GENERATING CAPACITIES
IN THE POWER INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF CÔTE D'IVOIRE
BASED ON THE TARIFF FACTOR**

Произведен анализ условий функционирования и развития электроэнергетики Республики Кот-д'Ивуар. Одной из особенностей экономических отношений в электроэнергетике республики является отсутствие единого методического подхода по расчету тарифов на производство электрической энергии. Данные тарифы формируются на договорной основе между государством и генерирующими компаниями. Подобные практики чаще всего экономически не эффективны и не являются достаточно прозрачными для других участников электроэнергетического рынка. Рассмотрены характерные особенности организации рынка электроэнергии и мощности Республики Кот-д'Ивуар и выявлены перспективы его развития. Представлена сравнительная оценка эффективности функционирования различных генерирующих источников. Выявлена необходимость в диверсификации структуры генерации с целью повышения уровня надежности энергоснабжения потребителей республики. Разное соотношение мощностей между видами генерирующих источников формирует различную себестоимость производства электроэнергии. Разработана экономическо-математическая модель определения оптимального уровня тарифов на электроэнергию посредством оптимизации структуры генерирующих мощностей энергосистемы Республики Кот-д'Ивуар, включающая различные ограничения по выработке электроэнергии (величина производственных мощностей, пропускная способность ЛЭП, маневренные возможности генерирующего оборудования, воздействие на окружающую среду и величина капитальных вложений, выделяемых для ввода новых энергообъектов), обеспечивающие нормируемый уровень надежности энергоснабжения. Задача оптимизации структуры генерирующих источников включает в себя определение объемов ввода мощностей на разных типах электростанций, где используются различные виды топлива. Представленная модель формирования тарифов на электроэнергию в значительной степени ориентирована на обоснование выбора типов генерирующих источников на перспективу. Она дает четкий ориентир для выбора на долгосрочной основе направления дальнейшего развития электроэнергетики Республики Кот-д'Ивуар. Произведена оценка оптимальной структуры генерации республики, обеспечивающая высокую надежность электроснабжения потребителей при минимально возможном уровне цены на электроэнергию.

ТАРИФЫ НА ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ; СЕБЕСТОИМОСТЬ; ЗАТРАТЫ; ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ МОЩНОСТЕЙ; ВЫРАБОТКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ; УСТАНОВЛЕННАЯ МОЩНОСТЬ; ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ; ТЕПЛОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ.

Analysis of operating conditions and development of power industry of the Republic of Côte d'Ivoire is conducted. One of the features of the economic relations in power industry of the republic is lack of uniform methodical approach to calculation of tariffs for generation of electric energy. These tariffs are formed on a contractual basis between the government and the generation companies. Such practice is often economically ineffective and is not quite transparent for other participants of the electrical power market. The paper sees into specific features of the electric power and capacity market organization of the Republic of Côte d'Ivoire as well as prospects of its development. Comparative assessment of efficiency of various generating sources functioning is presented. Need for diversification of generation structure so as to increase the level of reliability of power



supply to consumers of the republic is identified. The different ratio of capacities between various types of the generating sources forms various prime cost of electricity generation. An economic and mathematical model has been worked out to define an optimum level of electric power tariffs by means of optimizing the structure of the generating capacities of the power supply system of the Republic of Côte d'Ivoire including various restrictions on power generation (size of capacities, high voltage line capacity, maneuverable opportunities of the generating equipment, impact on the environment and size of capital investments allocated for commissioning new power facilities) providing the normalized reliability level of power supply. The problem of optimization of the generating sources structure includes determining the volumes of capacities to be commissioned for different types of power plants where various types of fuel are used. The presented model of electricity tariff formation is substantially focused on justifying the choice of different types of generating sources in the long-run. It gives an accurate reference point for selecting the direction of further development of the power industry of the Republic of Côte d'Ivoire on a long-term basis. The optimum generation structure of the republic providing which would provide high reliability of power supply to consumers at the minimum possible level of electricity price has been assessed.

TARIFFS FOR ELECTRICITY PRODUCTION; PRIME COST; COSTS; OPTIMIZATION OF CAPACITIES STRUCTURE; POWER GENERATION; DESIGN CAPACITY; HYDRAULIC POWER PLANT; THERMAL POWER PLANT.

Введение. Состояние вопроса. В последние годы страны Африки демонстрируют существенный экономический рост, что оказывает большое влияние на объемы производства, передачи и распределения электроэнергии. В Республике Кот-д'Ивуар темп роста ВВП составил в 2013 г. 8,7 % [1]. Этот высокий экономический рост и постоянный рост численности населения (3 % ежегодно) обуславливают увеличение спроса на электрическую энергию.

Сегодня общая установленная мощность электростанций страны составляет 1637 МВт. Установленная мощность действующих электростанций по типам генерации имеет следующую структуру: 37 % (605 МВт) – гидроэнергетика, 63 % (1032 МВт) – тепловые электростанции. Неиспользуемый потенциал гидроэнергетики Кот-д'Ивуара в настоящее время оценивается в 1934 МВт [2, 3]. Руководство Республики Кот-д'Ивуар планирует удвоить общую установленную мощность электрических станций страны к 2020 г. [4]. Необходимость данного увеличения объясняется ростом спроса на электроэнергию в ближайшей перспективе, как на внутреннем, так и на зарубежных энергетических рынках, имеющих энергетические связи с энергосистемой Республики Кот-д'Ивуар.

В течение последних десятилетий ряд стран встали на курс рыночной либерализации в электроэнергетике. Республика Кот-д'Ивуар – одно из первых государств в Африке, которое либерализовало свой рынок генерации электрической энергии за счет

привлечения частных (независимых) производителей. Либерализация сектора производства электроэнергии была принята государством в следующих целях: для увеличения объемов производства электроэнергии, технологической модернизации сектора генерации электроэнергии, повышения надежности электроснабжения потребителей, установления экономически обоснованного уровня тарифов для потребителей.

После приватизации сектора генерации электроэнергии государство заключило концессионное соглашение на обслуживание объектов электроэнергетики страны с акционерным обществом СІЕ (Compagnie Ivoirienne de Electricité – Ивуарийская компания электроэнергетики). Главная особенность данного соглашения состоит в том, что концессионер (СІЕ) получает от государства в управление и обслуживание уже готовый энергообъект и не осуществляет инвестиций. Соответственно, на основании этого концессионного соглашения СІЕ осуществляет производство электроэнергии на шести ГЭС и одной ТЭС, а также оказывает услуги по транспортировке, распределению и сбыту электроэнергии на территории всей страны. Сегодня основная доля выработки электроэнергии в республике приходится на тепловые электростанции (более 79 %), работающие на природном газе [5]. На рис. 1 показана динамика выработки электрической энергии (МВт·ч) по видам генерации (ТЭС и ГЭС) в Республике Кот-д'Ивуар за период с 2003 по 2013 г.

Млн кВт·ч

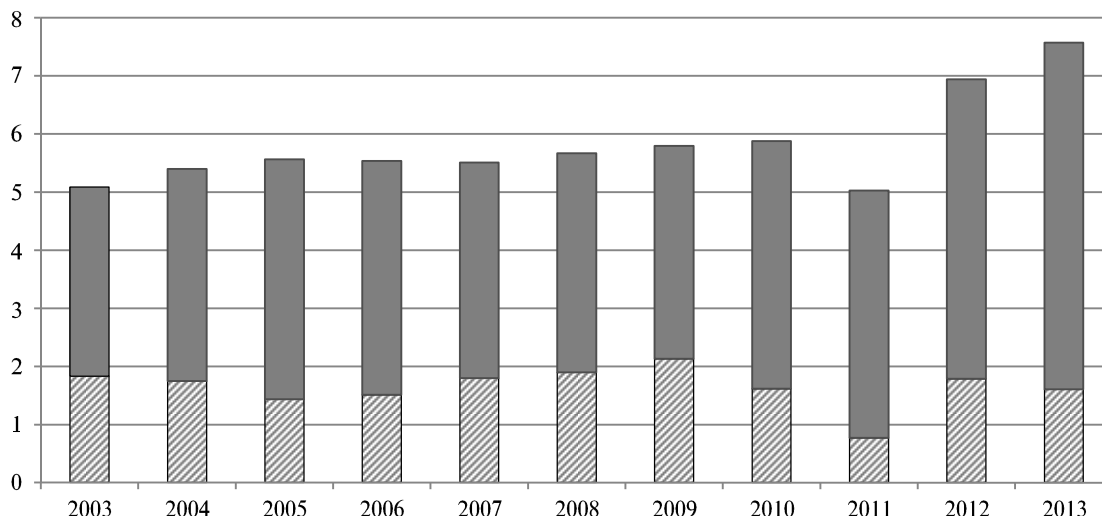


Рис. 1. Структура выработки электрической энергии по видам генерации в Республике Кот-д'Ивуар (■) – ТЭС; (▨) – ГЭС

В Республике Кот-д'Ивуар кроме СІЕ осуществляют деятельность еще три генерирующие компании – СІРЕL, АZІТО-ЕNЕРGІЕ и АGGRЕKО. Каждая из компаний – СІРЕL и АZІТО-ЕNЕРGІЕ имеет с государством действующее концессионное соглашение типа ВООТ (Build – строительство, Own – владение, Operate – управление и Transfer – передача) на условиях *take or pay* («бери или плати»). Генерирующая компания АGGRЕKО заключила с государством договор аренды. Суть концессионного соглашения типа ВООТ состоит в том, что концессионная компания имеет право на владение и пользование объектом в течение оговоренного в контракте периода времени, по истечении которого объект должен быть передан в управление государству [6]. Согласно принципу «бери или плати» поставщик берет на себя обязательство предоставить товар (электроэнергию) в количестве, не превышающем зафиксированные в договоре максимальные объемы, а покупатель, в свою очередь, обязуется в любом случае оплатить определенную часть из этих объемов вне зависимости от того, сколько он фактически приобрел товара (электроэнергии) в рассматриваемый период. С помощью принципа «бери или плати» минимизируются риски генерирующих компаний, связанные с возможным снижением спроса. Это особенно актуально для генерирующих компаний, учи-

тывая значительные капиталовложения, которые они вынуждены осуществлять для обеспечения поставок электроэнергии в максимальном объеме. Данные риски в альтернативном случае поставщик вынужден был бы включать в формулу ценообразования. В отличие от других стран мира, поставка (покупка) топлива генерирующим компаниям для целей выработки электроэнергии в Республике Кот-д'Ивуар осуществляется исключительно государством, т. е. сами генерирующие компании не имеют права закупать топливо самостоятельно. Государство с поставщиками топливных ресурсов (AFRENCI, CNR INTERNATIONAL, FOXTROTINTERNATIONAL) также заключает двусторонний договор купли-продажи топлива на условиях *take or pay*. Затем государство покупает у независимых производителей электроэнергию на договорной основе для ее распределения конечным потребителям. Поэтому тарифы на электроэнергию в настоящее время в значительной степени зависят от уровня цен на топливо на мировом рынке. Заметим, что такое влияние было бы не таким значительным, если бы в структуре генерирующих мощностей преобладали гидроэлектростанции. Следовательно, чтобы решить эту проблему, необходимо изменить существующую тенденцию развития генерирующих мощностей республики, т. е. увеличить удельный вес ГЭС в выработке электроэнергии.

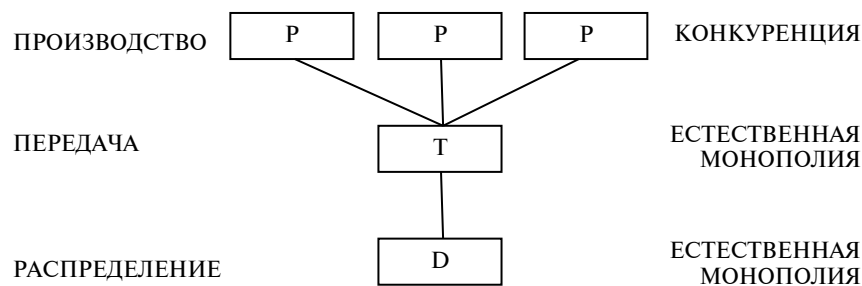


Рис. 2. Модель рынка электрической энергии Республики Кот-д'Ивуар

Функционирующая в настоящее время в Республике Кот-д'Ивуар модель электроэнергетического рынка соответствует модели единого покупателя (монопсоническая модель). Суть модели заключается в том, что все закупки и продажи электроэнергии осуществляются государством через одну организацию (СІЕ), которая одновременно осуществляет транспортировку, распределение и сбыт электроэнергии. Кроме того, СІЕ как концессионер генерирующих источников осуществляет также производство электроэнергии (рис. 2). Модель единого покупателя позволяет в определенной мере привлекать частные инвестиции (преимущественно в сектор генерации), а также контролировать тарифы на электроэнергию для конечных потребителей. В Республике Кот-д'Ивуар конкуренция в энергетике касается исключительно сферы производства электроэнергии. Данная модель в свое время была реализована в Италии, Португалии, Республике Корея, Венгрии и некоторых других странах. Переход к модели единого покупателя осуществляется либо путем отделения части генерирующих активов от компании-монополиста (Италия), либо разделения и приватизации всего сектора генерации (Венгрия) [7].

В электроэнергетике понятие «тариф» применяется в различных значениях. Во-первых, в соответствии с общепринятым представлением тариф – это ставка, по которой производится оплата за потребленную электроэнергию. Во-вторых, под тарифом понимают также тарифную систему (структуру тарифа), по которой производится оплата [8].

Основой для формирования тарифов на электроэнергию является себестоимость ее производства и передачи. Одной из проблем при планировании себестоимости производства электроэнергии на перспективу является определение оптимальной структуры генери-

рующих мощностей для бесперебойного и наиболее экономичного удовлетворения спроса на электроэнергию со стороны потребителей, т. е. непрерывное энергоснабжение потребителей по самой низкой цене. Принятая мировая практика основана на оптимизации структуры генерирующих мощностей, включающих разные виды электростанций с учетом их свойств и соответствующих ограничений разного рода. Диверсифицированная структура энергоисточников обеспечивает определенный уровень надежности энергоснабжения, а разное соотношение видов мощностей формирует различную себестоимость производства электроэнергии. Кратковременные маргинальные затраты при использовании одних технологий, таких, например, как гидроэнергетика, очень невелики, тогда как теплоэлектростанции несут более высокие маргинальные затраты в зависимости от используемых технологий и топлива. В гидроэнергетике бесспорно крупнейшей долей затрат являются инвестиционные затраты. Общая прибыльность этих технологий при рыночном ценообразовании сильно зависит от цен, определяемых другими технологиями производства электроэнергии (например, теплоэнергетика) в тех случаях, когда они необходимы для удовлетворения существующего спроса [9]. В табл. 1 приведена сравнительная характеристика преимуществ и недостатков различных генерирующих источников энергии.

Из приведенного перечня преимуществ и недостатков представленных генерирующих источников видим, что ни один из них не обладает абсолютными преимуществами. Зато в своей совокупности они способны взаимно компенсировать недостатки друг друга и обеспечивать энергоснабжение потребителей с максимальным уровнем надежности и эффективности [10].

Таблица 1

Сравнительная характеристика генерирующих источников

Генерирующие источники энергии	Преимущества	Недостатки
Тепловые источники энергии	<p>Относительная дешевизна создания мощностей и покупки технологий.</p> <p>Размещение в любом месте независимо от наличия топлива.</p> <p>Малые сроки строительства.</p> <p>Меньшая площадь тепловой электростанции.</p> <p>Выработка электрической энергии без сезонных колебаний.</p> <p>Использование отходов в побочных производствах</p>	<p>Относительно высокая стоимость топлива.</p> <p>Необходимость создания соответствующей инфраструктуры доставки и подготовки топлива.</p> <p>Высокие затраты на оплату обслуживающего персонала.</p> <p>Высокие выбросы в атмосферу загрязняющих веществ.</p> <p>Невосполнимость и ограниченность мировых запасов органического топлива.</p> <p>Относительно низкая маневренность (как правило, они работают «в базисе» или «полупике» нагрузки); изменение режима работы блока требует времени (от 15 ч и более) и дополнительных затрат топлива</p>
Гидравлические источники энергии	<p>Отсутствие топливной составляющей в себестоимости производства.</p> <p>Высокая мобильность в режимах несения нагрузки.</p> <p>Относительно малые затраты на обслуживающий персонал.</p> <p>Отсутствие вредных выбросов и сбросов и отходов в атмосферу.</p> <p>Использование возобновляемой энергии.</p> <p>Высокая маневренность.</p> <p>Высокий КПД.</p> <p>Длительный срок эксплуатации (до 100 и более лет).</p> <p>Низкая себестоимость электроэнергии.</p> <p>Использование плотины для связей между берегами и регулирования стока воды</p>	<p>Высокие капитальные затраты на создание мощностей.</p> <p>Ограничения в режимах работы, накладываемые другими субъектами системы водопользования.</p> <p>Значительная зависимость от количества выпадаемых осадков.</p> <p>Отсутствие попутной продукции.</p> <p>Необходимость создания специальных водохранилищ и отчуждение в связи с этим земельных ресурсов.</p> <p>Строительство только там, где есть большие запасы энергии воды.</p> <p>Длительный срок строительства</p>
Возобновляемые источники электроэнергии (ветровые, солнечные и др.)	<p>Отсутствие затрат на топливо.</p> <p>Относительно малые затраты на обслуживающий персонал.</p> <p>Отсутствие вредных выбросов и сбросов и отходов в атмосферу</p>	<p>Небольшая мощность.</p> <p>Значительная зависимость от погодных условий (ветер, солнце).</p> <p>Необходимость в больших площадях</p>
Атомные генерирующие мощности	<p>Огромная энергоемкость используемого топлива.</p> <p>Повторное использование топлива (после регенерации).</p> <p>Ядерная энергетика (не способствующая созданию «парникового эффекта»).</p> <p>Малые затраты топлива.</p> <p>Низкая себестоимость производства электроэнергии</p>	<p>Сложность утилизации радиоактивных отходов.</p> <p>Негативное общественное мнение по поводу безопасности эксплуатации.</p> <p>Высокие капитальные затраты на утилизацию топлива и мощностей.</p> <p>Низкая маневренность.</p> <p>Необходимость периодического прохождения специальной аттестации</p>

Таблица 2

Установленные мощности действующих электростанций Республики Кот-д’Ивуар

Электростанция		Установленная мощность, МВт	Подсистема (узел)
ТЭС	ВРИДИ	100	I
	СИПРЕЛ	432	I
	АЗИТО	300	I
	АГГРЕКО	200	I
	Итого по ТЭС	1032	
ГЭС	АЯМЕ	50	I
	КОСУ	175	II
	ТААБО	210	II
	БЮЙО	165	II
	ФАЕ	5	II
	Итого по ГЭС	605	

Следует отметить, что преимущественное развитие в отдельных регионах тех или иных видов генерирующих мощностей связано с учетом таких факторов, как топливообеспечение, наличие водных ресурсов, объемы перспективного потребления электроэнергии, степень развития необходимой инфраструктуры, наличие квалифицированного персонала и т. п. В любом случае, энергетические системы, имеющие диверсифицированную структуру генерирующих мощностей, являются более надежными, по сравнению с энергосистемами, созданными на базе однотипных генерирующих источников. Риски, связанные с перебоями в поставках топлива, погодными условиями, экологическими ограничениями для энергосистемы с диверсифицированной структурой генерирующих мощностей значительно ниже [10]. Однако в связи с недостаточностью высококвалифицированных специалистов на данный момент Республика Кот-д’Ивуар не готова развивать атомную энергетику для диверсификации структуры мощностей. В табл. 2 представлены установленные мощности действующих электростанций Республики Кот-д’Ивуар.

Методика и результаты исследования. Определение оптимального уровня тарифов с помощью оптимизации структуры генерирующих мощностей, включающих разные виды электростанций с учетом их свойств и соответствующих ограничений разного рода, является актуальным вопросом в общем функционировании энергосистем.

Задача оптимизации структуры генерирующих источников включает в себя определение объемов ввода мощностей на разных типах электростанций, где используются различные виды топлива. При решении задачи приходится учитывать значительную неопределенность ряда прогнозных показателей, прежде всего, технико-экономических характеристик генерирующего оборудования, показателей энергетического топлива, характеристик графиков нагрузки. Основой для решения являются прогноз суточных графиков нагрузки энергосистем и показатели экономичности и маневренности блоков электростанций различных типов. На практике эта увязка осуществляется в два этапа. На первом этапе выполняется грубая оптимизация структуры генерирующих мощностей ЕЭС в задаче оптимизации ТЭК. В данной задаче энергосистема представляется в виде узлов, связанных межсистемными связями. На втором этапе производится уточненная оптимизация структуры с учетом особенностей режимов электростанций, резервов мощности и совмещения графиков нагрузки при фиксированных экономических характеристиках топливных связей [11–13].

При определении оптимальной структуры генерирующих мощностей необходимо учитывать комплекс факторов, связанных с различными ограничениями на определенные виды ресурсов, производственные мощности, пропускную способность ЛЭП, маневренные

возможности генерирующего оборудования, воздействие на окружающую среду и т. д.

Решение данной задачи предлагается осуществлять с помощью экономико-математической модели, ограничения которой представлены, в первую очередь, в виде балансовых соотношений по мощности и электроэнергии во всех зонах графика нагрузки [14, 15]. Мощность, формируемая различными источниками в энергосистеме страны, должна быть достаточной для покрытия внутренней нагрузки, а также для обеспечения необходимых перетоков мощности в энергосистеме соседних стран. В модель включены ограничения по передаче мощности из других энергообъединений в энергосистему республики, которые определяются балансом мощности во внешних энергосистемах, а также ограничения по пропускной способности межсистемных линий электропередач, обслуживающих перетоки мощности со смежными энергосистемами региона. Для ГЭС следует обратить внимание на условия предельной мощности и предельного отпуска электроэнергии, так как технологический потенциал гидроэнергетики ограничен для каждой страны. Данный потенциал для Республики Кот-д'Ивуар оценивается приблизительно в 3000 МВт. В модели необходимо рассматривать условия по обеспечению спроса на электроэнергию (мощность) в период пиковых нагрузок. Очень важным является также ограничение по экологии и по использованию некоторых видов топлива. Следует учесть и ограниченность капитальных вложений, выделенных на ввод новых энергообъектов.

В предлагаемой модели учитывается количество действующих в республике электростанций, а также возможный ввод новых мощностей.

Ограничения представляются следующими уравнениями.

1. Условие баланса мощности энергосистемы для каждого узла:

$$\sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (P_{eji} + X_{eji})(1 - \alpha_{c_{н_{ji}}}) + (1 - \alpha_{л_{ЭП}}) \sum_e X_{e'e'} - \sum_e X_{e'e} \geq P_e, \quad (1)$$

где e – индекс узла; j – индекс типов электрических станций; i – индекс вида топлива; $\alpha_{c_{н_{ji}}}$ – расход мощности на собственные нужды; $\alpha_{л_{ЭП}}$ – коэффициент, определяющий по-

тери электроэнергии в ЛЭП; P_e – максимальная нагрузка узла e ; P_{ji} – величина мощности электростанции j -типа, использующая топливо вида i ; X_{ji} – величина вновь вводимой мощности электростанции j -типа, использующая топливо вида i ; $P_{e'e'}$, $P_{e'e}$ – мощность, передаваемая из узла e в смежный узел e' и обратно.

2. Условие баланса электроэнергии для каждого узла e :

$$\sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (P_{eji} + X_{eji})(1 - \alpha_{c_{н_{ji}}}) h_{ji} + (1 - \alpha_{л_{ЭП}}) \sum_e X_{e'e'} h_{e'e'} - \sum_e X_{e'e} h_{e'e} \geq W_e, \quad (2)$$

где h_{ji} – годовое число часов использования мощности электростанции; $h_{e'e'}$, $h_{e'e}$ – время использования максимальной мощности межсистемных связей; W_e – годовая потребность в электроэнергии.

3. Ограничение по предельной мощности электростанции (для ГЭС):

$$P_{eji} + X_{eji} \leq P_{\max_{eji}}, \quad (3)$$

где $P_{\max_{eji}}$ – предельно допустимая мощность электростанции данного типа.

4. Ограничение по предельному отпуску электроэнергии (для ГЭС):

$$(P_{eji} + X_{eji}) h_{ji} \leq W_{eji}, \quad (4)$$

где W_{eji} – предельно допустимый отпуск электроэнергии данного типа электростанции.

5. Ограничение по пропускной способности существующих и вновь вводимых ЛЭП:

$$X_{e'e} + X_{e'e'} \leq P_{e'e'}, \quad (5)$$

где $P_{e'e'}$ – пропускная способность линий электропередачи.

6. Условие обеспечения спроса мощности в период пиковых нагрузок:

$$\sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (P_{eji} + X_{eji})(1 - \alpha_{c_{н_{ji}}})(1 - \alpha_{\text{рез}}) \geq \sum_e P_e (1 + \alpha_{л_{ЭП}}), \quad (6)$$

где $\alpha_{\text{рез}}$ – коэффициент, определяющий резерв мощности в энергосистеме.

7. Условие обеспечения спроса электроэнергии в период пиковых нагрузок:

$$\sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (P_{eji} + X_{eji})(1 - \alpha_{cнji})(1 - \alpha_{pез})h_{ji} \geq \sum_e W_e(1 + \alpha_{лЭП}). \quad (7)$$

8. Ограничение по использованию некоторых видов топлива:

$$\sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J (P_{eji} + X_{eji})h_{ji}b_{ji} \leq B_i, \quad (8)$$

$$i = 1, 2, \dots, I,$$

где b_{ji} – удельный расход топлива; B_i – заданный объем топлива i вида.

9. Ограничение по экологии:

$$\sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (P_{eji} + X_{eji})b_{ji}h_{ji}d_{ji} \leq D_{нор}, \quad (9)$$

где d_{ji} – удельные выбросы загрязняющего вещества; $D_{нор}$ – предельно допустимый выброс загрязняющего вещества.

10. Учет ограниченности капитальных вложений, выделенных для ввода новых энергообъектов:

$$\sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I K_{eji} X_{eji} \leq K_{max}, \quad (10)$$

где K_{max} – выделенные капиталовложения; K_{eji} – удельные капиталовложения.

В качестве критерия оптимальности принимаем минимум среднегодовых дисконтированных затрат ($Z_{д ср}$) на развитие генерирующих мощностей республики:

$$Z_{д ср} \sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \left(\frac{\sum_{n=0}^{N_j} \frac{3_{eji n}}{(1+r)^n}}{N_j} X_{eji} \right) \rightarrow \min, \quad (11)$$

где

$$3_{eji} = \sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (K_{eji} + C_{eji} + 3_{тi} b_{eji} h_{eji}), \quad (12)$$

где 3_{eji} – удельные затраты по сооружению и эксплуатации j -й электростанции, использующей топливо вида i в n -м году; N_j – срок экономической жизни j -го типа электростанций; K_{eji} – удельные капиталовложения электростанции; C_{eji} – удельные постоянные ежегодные затраты по эксплуатации электро-

станций (без учета топливных составляющих); a_{ji} – коэффициенты амортизационных отчислений для электростанций; $3_{тi}$ – удельные затраты на топливо вида i .

В республике Кот-д'Ивуар отсутствует единый методический подход по расчету тарифов на производство электрической энергии. Тарифы на производство электрической энергии формируются на договорной основе между государством и генерирующими компаниями. Такие практики чаще всего экономически не эффективны и не являются достаточно прозрачными для других участников электроэнергетического рынка.

На наш взгляд, тариф на генерацию электроэнергии должен обеспечивать возможность покрытия (возмещения) всех дисконтированных расходов генерирующих компаний путем формирования соответствующего потока дисконтированных доходов. Кроме того, тариф должен отражать структуру генерации страны и показывать оптимальное направление в выборе технологии для генерации электрической энергии. В соответствии с этой точкой зрения тариф на производство электроэнергии ($T_{про}$) можно представить в следующем виде:

$$T_{про} = \sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J \alpha_j \frac{\sum_{n=0}^N \frac{3_{ejn}}{(1+r)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{E_{ejn}}{(1+r)^n}}, \quad (13)$$

$$\alpha_j = \frac{E_j}{\sum_j E_j}, \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^J \alpha_j = 1, \quad (15)$$

где α_j – коэффициенты, определяющие удельный вес соответственно выработки электроэнергии j -го типа электростанций; E_{ejn} – выработка электроэнергии j -го типа электростанций; r – ставка дисконтирования.

Выводы. Практическая значимость данного исследования состоит в том, что разработанные методические положения ориентированы на снижение тарифов на производство электроэнергии и повышение надежности электроэнергетической системы. Общей конечной целью функционирования электроэнергетических систем является бесперебойное, надеж-

ное и наиболее эффективное обеспечение электроэнергией установленного качества всех потребителей [11]. Представленная модель формирования тарифов на электроэнергию в значительной степени ориентирована на обоснование выбора типов генерирующих источников на перспективу. Она дает четкий ориентир для выбора на долгосрочной основе направления дальнейшего развития электроэнергетики Республики Кот-д'Ивуар.

В случае дефицита инвестиций, при необходимости получения электрической энергии в максимально короткие сроки, предпочтение может быть отдано строительству ТЭС. Однако дальнейшая эксплуатация ТЭС будет обходиться дороже, чем ГЭС, из-за дороговизны топлива. Благодаря низкой себестоимости производства гидравлическая энергия является конкурентоспособной относительно

других традиционных и возобновляемых источников электрической энергии. Следовательно, для обеспечения оптимального направления развития электроэнергетики страны, необходимо изменить существующую тенденцию развития генерации, которая дает преимущество ТЭС, т. е. снизить удельный вес ТЭС и, соответственно, увеличить этот показатель для ГЭС в структуре выработки электроэнергии. Государственная политика в области электроэнергетики должна быть ориентирована на возобновляемые источники электроэнергии, в том числе ГЭС, для устойчивого развития электроэнергетики в Республике Кот-д'Ивуар. Для развивающихся стран, в том числе Республики Кот-д'Ивуар, снижение цен на электроэнергию может стимулировать социально-экономическое развитие страны в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Perspective Monde. URL: <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMTendanceStatPays?codeTheme=2&codeStat=NE.RSB.GNFS.ZS&codePays=CIV&codeTheme2=7&codeStat2=x&codePays2=CIV&langue=fr> (дата обращения: 29.01.2015).
2. CI-Energies. Le potentiel hydrolique. URL: http://www.cinergies.ci/se_de.php (дата обращения: 29.01.2015).
3. Rapport d'activités ANARE – Autorité nationale de régulation du secteur de l'électricité, 2013. 131 с.
4. URL: http://www.proparco.fr/webdav/site/proparco/shared/PORTAILS/Secteur_privé_developpement/PDF/SPD18/SPD18_Amidou_traore_FR.pdf
5. Rapport annuel CIE. Compagnie Ivoirienne d'Electricité, 2013. 36 с.
6. Снякова А.Ф. Концессионные соглашения: привлечение в регион инвестиций с помощью государственно-частного партнерства // Региональная экономика: теория и практика. 2007. С. 59–64.
7. Порохова Н.В. От чего зависит успех или провал реформы // Мировая энергетика. 2008. Июль. URL: <http://ipem.ru/news/publications/375.html> (дата обращения: 20.01.2015).
8. Можяева С.В. Экономика энергетического производства: учеб. пособие. 6-е изд. СПб.: Лань, 2011. 272 с.
9. International Energy Agency = Международное энергетическое агентство. Уроки, извлеченные из либерализации рынков электроэнергии, 2005. 274 с.
10. Колибаба В.И., Соколов Ю.А. Повышение финансовой устойчивости электроэнергетических компаний на межгосударственном рынке / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». Иваново, 2005. 292 с.
11. Аняичева С.С., Мезенцев П.Е., Мызин А.Л. Модели развития электроэнергетических систем. Екатеринбург: УрФУ, 2014. 148 с.
12. Поспелов Г.С., Ириков В.А., Курилов А.Е. Процедуры и алгоритмы формирования комплексных программ. М.: Наука, 1985. 224 с.
13. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л. Модели оптимизации развития энергосистем: учебник для вузов. М.: Высш. шк., 1987. 272 с.
14. Мелентьев Л.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. М.: Высш. шк., 1982. 319 с.
15. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. Элементы теории, направления развития. М.: Наука, 1983. 454 с.

REFERENCES

1. Perspective Monde. URL: <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMTendanceStatPays?codeTheme=2&codeStat=NE.RSB.GNFS.ZS&codePays=CIV&codeTheme2=7&codeStat2=x&codePays2=CIV&langue=fr> (data obrashcheniia: 29.01.2015).
2. CI-Energies. Le potentiel hydrolique. URL: http://www.cinergies.ci/se_de.php (data obrashcheniia: 29.01.2015).
3. Rapport d'activités ANARE – Autorité nationale de régulation du secteur de l'électricité, 2013. 131 с.

4. URL: http://www.proparco.fr/webdav/site/proparco/shared/PORTAILS/Secteur_prive_developpement/PDF/SPD18/SPD18_Amidou_traore_FR.pdf
5. Rapport annuel CIE. Compagnie Ivoirienne d'Electricité, 2013. 36 s.
6. **Siniakova A.F.** Kontsessionnye soglasheniia: privlechenie v region investitsii s pomoshch'iu gosudarstvenno-chastnogo partnerstva. *Regional'naiia ekonomika: teoriia i praktika*. 2007. S. 59–64. (rus)
7. **Porokhova N.V.** Ot chego zavisit uspekhi ili proval reform. *Mirovaia energetika*. 2008. Iiul'. URL: <http://ipem.ru/news/publications/375.html> (data obrashcheniia: 20.01.2015). (rus)
8. **Mozhaeva S.V.** Ekonomika energeticheskogo proizvodstva: ucheb. posobie. 6-e izd. SPb.: Lan', 2011. 272 s. (rus)
9. International Energy Agency = Mezhdunarodnoe energeticheskoe agentstvo. Uroki, izvlechennye iz liberalizatsii rynkov elektroenergii, 2005. 274 s. (rus)
10. **Kolibaba V.I., Sokolov Iu.A.** Povyshenie finansovoi ustoichivosti elektroenergeticheskikh kompanii na mezhdunarstvennom rynke. GOUVPO «Ivanovskii gosudarstvennyi energeticheskii universitet imeni V.I. Lenina». Ivanovo, 2005. 292 s. (rus)
11. **Ananicheva S.S., Mezentsev P.E., Myzin A.L.** Modeli razvitiia elektroenergeticheskikh sistem. Ekaterinburg: UrFU, 2014. 148 s. (rus)
12. **Pospelov G.S., Irikov V.A., Kurilov A.E.** Protседury i algoritmy formirovaniia kompleksnykh programm. M.: Nauka, 1985. 224 s. (rus)
13. **Arzamastsev D.A., Lipes A.V., Myzin A.L.** Modeli optimizatsii razvitiia energosistem: uchebnik dlia vuzov. M.: Vyssh. shk., 1987. 272 s. (rus)
14. **Melent'ev L.A.** Optimizatsiia razvitiia i upravleniia bol'shikh sistem energetiki. M.: Vyssh. shk., 1982. 319 s. (rus)
15. **Melent'ev L.A.** Sistemnye issledovaniia v energetike. Elementy teorii, napravleniia razvitiia. M.: Nauka, 1983. 454 s. (rus)

КОЛИБАБА Владимир Иванович – заведующий кафедрой Ивановского государственного энергетического университета, доктор экономических наук.

153003, Рабфаковская ул., д. 34, г. Иваново, Россия. E-mail: kolibaba@eiop.ispu.ru

KOLIBABA Vladimir I. – Ivanovo State Power University.

153003. Rabfakovskaya str. 34. Ivanovo. Russia. E-mail: kolibaba@eiop.ispu.ru

ИОБУЭ Куадио Эрманн – аспирант Ивановского государственного энергетического университета.

153003, Рабфаковская ул., д. 34, г. Иваново, Россия. E-mail: yoboueherman@gmail.com

YOBOUE Kuadio H. – Ivanovo power state university.

153003. Rabfakovskaya str. 34. Ivanovo. Russia. E-mail: yoboueherman@gmail.com
