

центры которых лежат на окружности, а сами они касаются друг друга; неровность сечения моделируется последовательным запаздыванием времени удара каждого последующего ударника по сравнению с предыдущим. В представленном на рисунках варианте запаздывание идет против часовой стрелки и составляет 5 интервалов по времени. Изолинии напряжений и интенсивности касательных напряжений приведены для момента времени 80 в двенадцатом слое.

Литература

1. Численное решение динамических задач упругопластического деформирования твердых тел / Г.В.Иванов, Ю.М.Волчков, И.О.Богульский [и др.]. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2002. – 352 с.
2. Анисимов С.А., Богульский И.О. Численное решение задач динамики упругих тел. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 1995.



УДК 620.92

Д.Н. Карамов

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕКТОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА НА РЕЗУЛЬТАТ КОМПЛЕКСНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Представлены результаты комплексной оптимизации децентрализованной системы электроснабжения с учетом производственной нагрузки на базе объектов агропромышленного комплекса. По полученным результатам сделан вывод о возможности применения объектов агропромышленного комплекса для решения задачи социально-экономического развития удаленных населенных пунктов в рамках решения задачи комплексной оптимизации.

Ключевые слова: децентрализованные системы электроснабжения, комплексная оптимизация, объекты агропромышленного комплекса, социально-экономическое развитие, удаленные населенные пункты.

D.N. Karamov

THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX FACILITIES INFLUENCE ON THE RESULT OF THE COMPLEX OPTIMIZATION OF THE DECENTRALIZED POWER SUPPLY SYSTEMS USING THE RENEWABLE ENERGY SOURCES

The results of the complex optimization of the decentralized power supply system, taking into account the production load on the basis of the agro-industrial complex facilities are presented. According to the received results the conclusion about the possibility of the agro-industrial facilities use for the task solution of the remote settlement social-economic development in the framework of the complex optimization task solving is made.

Key words: decentralized power supply systems, complex optimization, agro-industrial complex facilities, social-economic development, remote settlements.

Введение. На территории России находится большое количество децентрализованных систем электроснабжения (ДСЭС). ДСЭС преимущественно расположены на территории Сибири, Дальнего Востока и Курильских островов. Основным генерирующим оборудованием для ДСЭС являются дизельные электростанции (ДЭС). Для ДЭС свойственны низкий КПД, низкая надежность, высокая стоимость дизельного топлива, длительность транспортировки дизельного топлива при ограниченном сроке сезонного завоза. Вышеперечисленные свойства приводят к высокой стоимости кВт·ч, произведенного ДЭС [1].

Опыт исследовательских коллективов показывает, что комбинированное применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и накопителей энергии в ДСЭС является экономически эффективным способом энергообеспечения потребителей [2–3]. Основные задачи, возникающие при комбинированном применении ВИЭ и накопителей энергии, носят оптимизационный характер. Комплексная оптимизация ДСЭС позволяет найти установленные мощности ВИЭ, накопителей энергии и вспомогательного оборудования.

Учет производственной нагрузки в рамках решения задачи комплексной оптимизации ДСЭС, использующих ВИЭ и накопители энергии, дает возможность рассматривать вопросы социально-экономического развития (СЭР) удаленных населенных пунктов.

При рассмотрении вопросов СЭР удаленных населенных пунктов особое внимание необходимо уделять проектам малых и средних производственных предприятий, нацеленных на удовлетворение локального (районного) спроса на сельскохозяйственную, рыбоперерабатывающую и лесную продукцию [4].

Согласно [5], объекты агропромышленного комплекса (АПК) потенциально могут использоваться для решения задачи СЭР удаленных населенных пунктов.

Цель работы. Продемонстрировать влияние объектов АПК на результат комплексной оптимизации ДСЭС, использующей ВИЭ и накопители энергии.

Математическое моделирование ДСЭС, использующей ВИЭ и накопители энергии

Математическая модель ДСЭС состоит из следующих элементов: генерация, аккумулирование, преобразование и передача электроэнергии.

Моделирование генерирующих устройств выполняется с использованием следующих литературных источников: фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) [6–8], ветроэнергетические установки (ВЭУ) [8, 9], аккумуляторные батареи (АБ) [10, 11], ДЭС [12].

Преобразование и передача электроэнергии выполняются следующими элементами: трансформаторы (ТР), воздушные линии (ВЛ) [13], силовые инверторы (СИН), выпрямители (ВП) [14, 15].

В рамках модели разработана программа по определению астрономических параметров Солнца исходя из координат местности, месяца, числа и часа расчетного периода. Далее с использованием результатов замеров автоматическими метеостанциями климатических данных, представленных в [16], создается массив, описывающий с шагом один час следующие параметры окружающей среды: температура окружающей среды, °С; давление воздуха, кПа; облачность, %; скорость ветра на высоте 10 метров, м/с. Как правило, число лет метеонаблюдений для удаленных населенных пунктов находится в интервале от 5 до 12.

На рисунке 1 представлен общий вид модели ДСЭС, использующей ВИЭ и АБ.

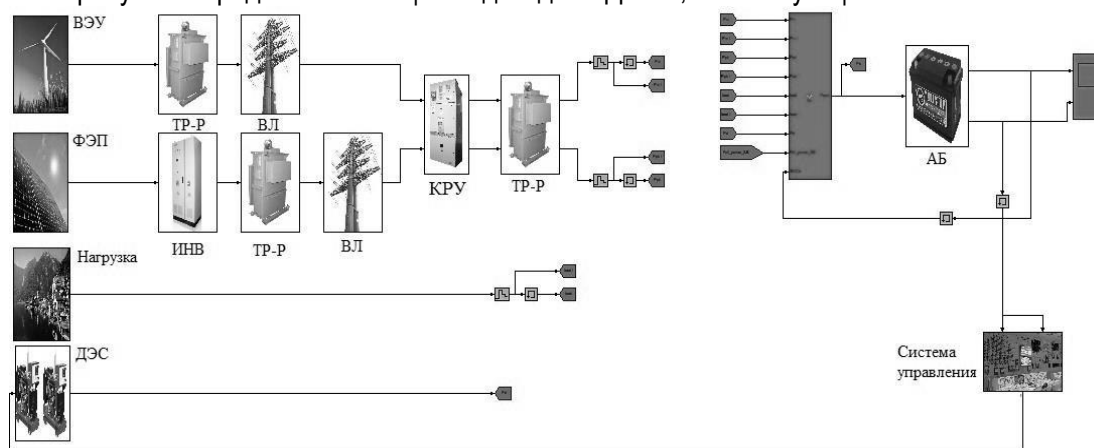


Рис. 1. Общий вид модели ДСЭС, использующей ВИЭ и АБ:

ВЭУ, ФЭП, НАГРУЗКА, ДЭС, ТР-Р, ВЛ, КРУ, АБ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ – блок расчета ветроэнергетических установок, фотоэлектрических преобразователей, нагрузки, дизельной электростанции, трансформаторов, воздушных линий, комплектных распределительных устройств, аккумуляторных батарей, системы управления

Определение состава оборудования ДСЭС

Цель – нахождение оптимального соотношения генерирующих мощностей и вспомогательно-го оборудования при минимальной стоимости произведенного кВт·ч. Для сравнения вариантов применяется методика уравнишенной стоимости электроэнергии (Levelized cost of electricity; LCOE) [17]. LCOE, руб/кВт·ч – это стоимость электроэнергии, отпускаемой непосредственно с комбинированного комплекса, использующего ВИЭ и накопители энергии.

Целевая функция имеет вид

$$LCOE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{K_i + M_i + F_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{(1+r)^i}},$$

где K_i – капиталовложения; M_i – эксплуатационные расходы; F_i – топливные издержки; E_i – производство электроэнергии, кВт·ч; r – коэффициент дисконтирования; n – число лет расчетного периода, г.; подстрочным индексом i обозначены величины, относящиеся к i -му году расчетного периода.

Алгоритм оптимизации представляет собой многоитерационный трехступенчатый замкнутый процесс с постепенным изменением установленных мощностей элементов генерации и аккумулярования электроэнергии. В основе программы заложен метод Гаусса-Зейделя.

На рисунке 2 представлен алгоритм оптимизации ДСЭС.

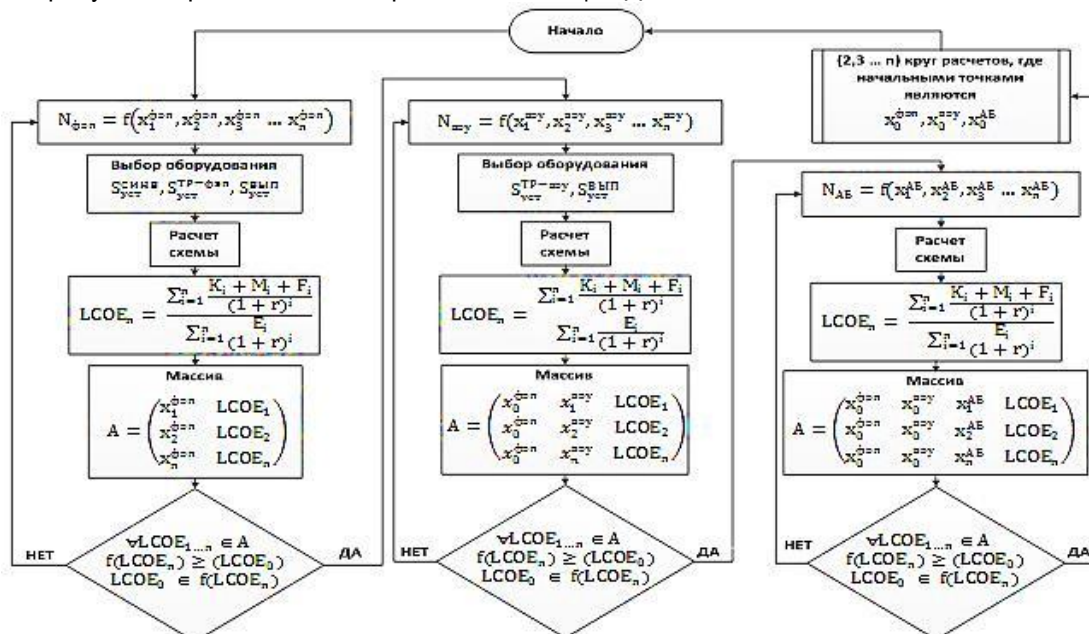


Рис. 2. Алгоритм оптимизации ДСЭС

В качестве примера была рассмотрена ДСЭС «Хамра» (Ленский район, Якутия). Максимальная нагрузка наблюдается в зимний период и составляет 90 кВт. На текущий момент в ДСЭС «Хамра» используются дизель-генераторные агрегаты с установленной мощностью 30, 60, 75 и 100 кВт. Стоимость дизельного топлива с учетом доставки в настоящее время составляет 55 рублей за литр. Удельное потребление дизельного топлива составляет 497,8 мл на производство кВт·ч [1]. Высокая стоимость дизельного топлива, а также его большое удельное потребление являются причиной высокой стоимости произведенного кВт·ч, которая на текущий момент составляет 22 рубля, что не дает возможности рассматривать вопросы СЭР поселка «Хамра».

Постановка задачи для ДСЭС «Хамра»: выполнить комплексную оптимизацию ДСЭС с применением ВИЭ и АБ, с учетом производственных мощностей на базе АПК.

Комплексная оптимизация ДСЭС «Хамра»

При оптимизации ДСЭС «Хамра» рассматривается следующее оборудование, представленное в таблице 1.

Таблица 1

Заводские параметры оборудования, используемого в расчетной модели

ФЭП	$P_{уст}$, кВт	$U_{опт}$, В	КПД	Площадь, мм
ТСМ – 250А	0,250	31	0,20	1633x996
АБ	$Q_{уст}$, А·ч	$U_{АБ}$, В	-	-
Rolls – S-12-230	230	12	0,95	530x209x218
ДЭС	$P_{уст}$, кВт	$Q_{ном}$, мл/кВт·ч	-	-
2 х ЯМЗ-100	100	300	0,3	5250x2200x2500
ВЭУ	$P_{уст}$, кВт	$V_{стр}$, м/с	-	Радиус, м
Sokol Air Vertical-15	15	2,2	0,4	2,5

Примечание. $P_{уст}$ – единичная установленная мощность агрегата; $Q_{уст}$ – установленная емкость АБ; $U_{опт}$ – напряжение ФЭП в точке максимального отбора мощности; $U_{АБ}$ – номинальное напряжение АБ; $V_{стр}$ – скорость страгивания ВЭУ; $Q_{ном}$ – номинальный расход дизельного топлива на производство, кВт·ч.

В таблице 2 представлены объекты АПК, используемые для СЭР удаленного населенного пункта Хамра.

Таблица 2

Объекты АПК, используемые для СЭР п. Хамра

Тип	Q_p , т/год	P_{min}, P_{max} , кВт	$t_{ввода}$, ч
Молочная ферма на 20 голов	100 тонн молока	10-25	с 0 ч (с начала расчёта)
Осетровая ферма	10 тонн рыбы	10-15	с 17520 ч (с 3-го года)

Примечание. Q_p – производительность предприятия; P_{min}, P_{max} – минимальная и максимальная нагрузка; $t_{ввода}$ – время ввода в эксплуатацию производственных предприятий.

После внесения параметров в расчетную модель запускается многоитерационный процесс комплексной оптимизации.

В таблице 3 показаны результаты комплексной оптимизации ДСЭС «Хамра».

Таблица 3

Результаты комплексной оптимизации ДСЭС «Хамра»

Без учета производственной нагрузки (вариант 1)							
ФЭП кВт	ВЭУ кВт	АБ кВт·ч	ДЭС кВт	$W_{эл}$, тыс. кВт·ч.	K_{Σ} , млн руб.	$F_{год}$, литры	LCOE, руб./кВт·ч
150	0	993,6	100	400	16,15	67950	15,31
С учетом производственной нагрузки объектов АПК (вариант 2)							
250	0	1987,2	100	600	30,98	89075	14,09

Примечание. $W_{эл}$ – годовое потребление электроэнергии; K_{Σ} – капиталовложения; $F_{год}$ – годовое потребление дизельного топлива.

Анализ полученных результатов. В результате оптимизации получены два варианта состава оборудования ДСЭС «Хамра». Оптимальной технологией производства электроэнергии является фотодизельный комплекс генерации с аккумуляторными батареями (ФЭП-ДЭС-АБ). В варианте 2 относительно варианта 1 рост годового потребления электроэнергии составил 33 %, при этом годовое потребление дизельного топлива увеличилось всего на 23 %. Относительно небольшое увеличение потребления дизельного топлива связано с тем, что рост производственной нагрузки наблюдается в период, когда ФЭП имеют максимальные значения выработки электроэнергии. Снижение стоимости произведенного кВт·ч по вариантам составило 8%.

Заключение. Согласно полученным результатам, ввод производственной нагрузки существенно влияет на результат комплексной оптимизации. Следует отметить, что уменьшение значения стоимости произведенного кВт·ч наблюдается только при вводе в эксплуатацию объектов АПК. Следовательно, объекты АПК можно рассматривать для решения задач СЭР удаленных населенных пунктов, использующих в качестве основного генерирующего оборудования ВИЭ и НЭ.

Стоит отметить, что разным территориям присуще индивидуальное распределение возобновляемых энергоресурсов, следовательно, задачу комплексной оптимизации с учетом производственных мощностей АПК необходимо рассматривать для каждой ДСЭС индивидуально.

Литература

1. Карамов Д.Н. Актуальность применения возобновляемых источников энергии в децентрализованных населенных пунктах России на примере Ленского района Республики Саха (Якутия) // Вестник ИргТУ. – 2013. – №11 (82). – С. 279–283.
2. Rodolfo Dufo-López, José L. Bernal-Aguistin. Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV–wind–diesel systems with batteries storage // Applied Energy. – 2011. – V. 88. – P. 4033–4041.
3. Dekker J., Nthontho M., Chowdhury S. Economic analysis of PV/diesel hybrid power systems in different climatic zones of South Africa // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2012. – V. 40. – № 1. – P. 104–112.
4. Ивантер В.В., Кожемяко О.Н., Кувалин Д.Б. Долгосрочное социально-экономическое развитие Дальнего Востока и Забайкалья: основные проблемы и задачи // Доклад рабочей группы к заседанию Президиума Государственного совета России. – 2012. – С. 1–14.
5. Lahimer A.A., Alghoul M.A., Yousif Fadhil. Research and development aspects on decentralized electrification options for rural household // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – V. 24. – P. 314–324.
6. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей: пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с.
7. Salas V., Alonso-Abella M., Chenlo F. Analysis of the maximum power point tracking in the photovoltaic grid inverters of 5kW // Renewable Energy. – 2009. – V. 37. – P. 2366–2372.
8. Стычинский З.А., Воронай Н.И. Возобновляемые источники энергии: теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика. – Магдебург; Иркутск, 2010. – 215 с.
9. Peter Musgrove. Wind Energy. – Cambridge university press, 2010. – 323 p.
10. Thomachan A. Kattakayam, Srinivasan K. Lead acid batteries in solar refrigeration systems // Renewable Energy. – 2004. – V. 29. – P. 1243–1250.
11. Tremblay O., Dessaint L. Experimental validation of a battery dynamic model for EV application // World Electric Vehicle Journal. – №3. – 2009. – P. 1–10.
12. Erkan Dursun, Osman Kilic. Comparative evaluation of different power management strategies of a stand-alone PV/Wind/PEMFC hybrid power system // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2012. – V. 34. – P. 81–89.
13. Каранетян И.Г., Файбисович Д.Л., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электрических сетей. – М.: Энас, 2012. – 376 с.

14. Salas V., Olias E. Overview of the state of technique for PV inverters used in low voltage grid-connected PV systems: Inverters above 10kW // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – V. 15. – P. 1250–1257.
 15. Hassaine L., Olias E., Quintero J. Overview of power inverter topologies and control structures for grid connected photovoltaic systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – V. 30. – P. 796–807.
 16. URL: www.rp5.ru.
 17. Kost C., Mayer J.N., Thomsen J. Levelized cost of electricity renewable energy technologies // Fraunhofer institute for solar energy system (FISE). – 2013. – P. 27–33.
-

УДК 628.971.6(571.51)

О.Н. Животов, Я.А. Кунгс

ПРОЕКТ ИННОВАЦИОННОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ УЛИЦЫ ДУБРОВИНСКОГО В ГОРОДЕ КРАСНОЯРСКЕ

Показаны экономические, энергетические, технические, эстетические и экологические преимущества светодиодного освещения улицы. Даны конструкция и параметры осветительной установки улицы, рассчитанной по программе «Dialux», определены экономические показатели новой системы освещения улицы Дубровинского.

Ключевые слова: экономика, светодиоды, натриевые лампы, светильник, светоотдача, улица, конструкция, параметры, расчет, план, анализ, дорога, пешеходная зона, изолинии, показатели, расходы, капитальные затраты, эксплуатационные затраты.

O.N. Zhivotov, Ya.A. Kungs

THE PROJECT OF THE INNOVATIVE LED LIGHTING OF DUBROVINSKY STREET IN KRASNOYARSKCITY

The economic, energy, technical, aesthetic and environmental advantages of the street LED lighting are shown. The design and parameters of the street lighting installation developed by the «Dialux» program are given; the economic indicators of the new street lighting system in Dubrovinsky street are determined.

Key words: economics, LEDs, sodium lamps, lamp, light output, street, construction, parameters, calculation, plan, analysis, road, pedestrian area, isolate, indicators, costs, capital costs, operating costs.

В настоящее время в мире существует общая тенденция перехода на светодиодное освещение как наиболее экономичное и экологически безопасное.

Так, Конгресс США выделил более 1 млрд долларов на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по повышению энергетических и эксплуатационных показателей светодиодов. «Тошиба» и другие японские фирмы постоянно совершенствуют выпускаемые светотехнические установки с применением светодиодов, в том числе и фирма «Тойота» для своих автомобилей, столица Испании Мадрид полностью переходит на светодиодное освещение, также во всемирно известном музее «Лувр» полностью внедряется светодиодное освещение. [1]

Общеизвестны основные преимущества светодиодов как источников света:

1. Экономия электроэнергии из-за высокой светоотдачи, достигающей 100 люмен на ватт. В уличном освещении единственным конкурентом светодиодам являются натриевые лампы ДНаТ со светоотдачей до 130 Лм/Вт, однако лампы ДНаТ имеют световое излучение оранжево-красного цвета, состоящее из трех спектральных линий красного цвета, что нарушает нормальное цветовосприятие окружающих предметов.