

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА
ДАУКЕЕВА»

ISSN 1999-9801

В Е С Т Н И К

АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Учрежден в июне 2008 года

Тематическая направленность: теплоэнергетика, электроэнергетика, радиотехника и связь,
космическая инженерия и технологии, информационные технологии, экология, обеспечение
жизнедеятельности, вопросы высшей технической школы

4 (51)

2020

Импакт-фактор - 0.154

Научно-технический журнал
Выходит 4 раза в год

Алматы

ВЕСТНИК АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

О постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ14VPY00024997

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Подписной индекс – 74108

Бас редакторы – главный редактор

Стояк В.В.

К. т.н., профессор

Заместитель главного редактора
Ответственный секретарь

Жауыт Алгазы, доктор PhD
Шуебаева Д.А., магистр

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Сагинтаева С.С., д-р экон. наук, канд. физ.- мат. наук, академик МАИН, ректор НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Гита Ревалде, доктор PhD, член-корреспондент Академии наук Латвии, директор Национального Совета науки, Рига, Латвия

Главный редактор – Стояк В.В., канд. техн. наук, профессор, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Заместитель главного редактора – Жауыт А., доктор PhD, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Илиев И.К., д-р техн. наук, Русенский университет, Болгария

Белоев Кристо, д-р техн. наук, Русенский университет, Болгария

Галайко Дмитрий, доктор PhD, университет Сарбонны, Франция

Такая Инамори, доктор PhD, Университет Токио, Япония

Цветков В.Ю., д-р техн. наук, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Белоруссия.

Кузнецов А.А., д-р техн. наук, ФГБОУ ВА «Омский государственный университет путей сообщения», Российская Федерация.

Авезова Н.Р., д-р, техн. наук, Министерство инновационного развития Республики Узбекистан.

Мунц В.А., д-р техн. наук ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Российская Федерация.

Мустафин М.А., д-р техн. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Обозов А.Д., д-р техн. наук, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызская Республика

Орумбаев Р.К., д-р техн. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Потехин В.В., канд. техн. наук доцент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Франческо Сандоро, доктор PhD, Университет Альдо Моро, Бари, Италия

Туманбаева К.Х., канд. техн. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Мутуле Анна, доктор PhD, Рижский Технический Университет, Латвия

Махмутов С.К., канд. истор. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Алипбаев К.А., доктор PhD, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Кабдушев Б.Ж., канд. истор. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

За достоверность материалов ответственность несут авторы.

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник АУЭС» обязательна.



МРНТИ 44.29.39

https://doi.org/10.51775/1999-9801_2020_51_4_27

СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

С.А. Кешуов¹, Г.С. Байсенова¹, Н.И. Молдыбаева²

¹ТОО «Научно-Производственный Центр Агроинженерии» (ТОО «НПЦАИ») Республика Казахстан, г. Алматы

²НАО «Казахский Национальный Аграрный Исследовательский Университет», Республика Казахстан, г. Алматы

E-mail: keshuov@mail.ru, baisenova61@mail.ru, moldybayeva78@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы построения оптимальных систем автономного энергоснабжения агропромышленного комплекса (АПК) с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), где актуальным является проблема выявления закономерностей распределения зон оптимального использования различных ВИЭ и их сочетания, путем сравнения их эксплуатационных и экономических показателей. Эффективным инструментом, определения зон оптимального применения различных видов ВИЭ, является системный подход, который позволяет провести комплексный анализ объекта и строго систематизировать исследования, а также осуществить синтез, т.е. найти систему, оптимальную для заданных условий. Проведен синтез оптимальной структуры системы возобновляемого энергоснабжения в зависимости от условий эксплуатации и мощности потребителя по критерию «эффективность-стоимость», интегральному показателю качества, комплексному критерию эффективности, частным показателям качества и стоимости систем. Разработаны алгоритм и программное обеспечение, которое позволило отыскать оптимальную структуру для построения автономных систем возобновляемого энергоснабжения для конкретных случаев и тем самым определив зоны оптимального использования различных систем в зависимости от принятых ограничений.

Ключевые слова: системы возобновляемого энергоснабжения, системный анализ, функциональный анализ, синтез оптимальной структуры системы, критерий «эффективность-стоимость».

Введение

В Казахстане обладающей большой территорией и низкой плотностью населения существует проблема энергоснабжения отдаленных от централизованных источников энергии объектов агропромышленного комплекса, например, отгонного животноводства. Одним из эффективных путей решения этой проблемы является энергоснабжению объектов АПК с использованием возобновляемых источников энергии. [1,2]

Известные методы выбора различных типов ВИЭ и их сочетаний достаточно сложны [3,4,5].

Поэтому актуальным является вопрос построения оптимальных систем автономного энергоснабжения объектов АПК более простыми методами, учитывающими наиболее важные эксплуатационные показатели, а также условия эксплуатации [6,7,8].

Материалы и методы исследования

Для определения зон оптимального применения различных видов ВИЭ, выбран метод системного анализа, который позволяет систематизировать исследования и осуществить синтез оптимальной структуры системы для заданных условий.

Определены границы исследуемого объекта – преобразовывающая, аккумулирующая и доставляющая энергию к потребителю часть рассматривается как самостоятельная «система возобновляемого энергоснабжения» (СВЭ), другие – ВИЭ и потребитель, как внешняя среда.

Сравнение видов систем производим для отрезка времени, соответствующего стадии использования по назначению [9].

Диаграмма функций СВЭ, совмещенная с ее схемой, составленная по принципу соответствия системы цели в составе метасистемы приведена на рисунке 1. В общем случае система состоит из преобразователя возобновляемой энергии ПВЭ, аккумулятора энергии АЭ, устройства обеспечения необходимых качественных показателей энергии УОКЭ, устройства передачи энергии УПЭ с соответствующими выполняемыми функциями.

Первым этапом синтеза структуры системы является обоснование исходных данных. Множество факторов, влияющих на качество системы, разделим на три совокупности: внутренние - относящиеся непосредственно к системе, внешние - характеризующие окружающую среду, и ограничения на структуру и параметры системы.

Внутренними факторами системы S выступают эксплуатационные свойства $K = \langle K_э, C \rangle$, где $K_э$ - эффективность системы, характеризующий качество выполнения системой цели функционирования, C - экономические свойства, характеризующие затраты, расходуемые на выполнение цели.

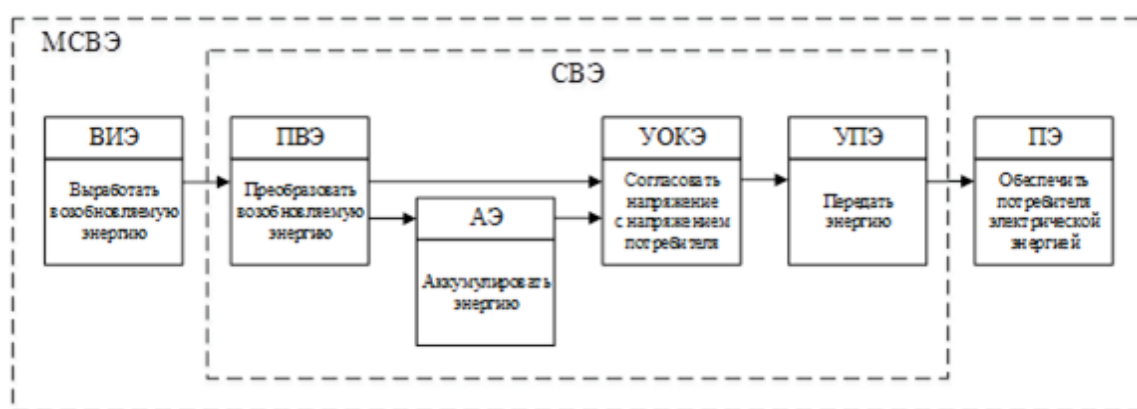


Рисунок 1 – Диаграмма функций СВЭ совмещенная с ее схемой

Эффективность является функцией показателей качества системы

$$K_э = f(K_H, K_T, K_{эH}, K_{эK}), \quad (1)$$

где K_H - надежность; K_T - технические показатели; $K_{эH}$ - энергетические показатели; $K_{эK}$ - экологические показатели.

В свою очередь: надежность системы СВЭ, исчерпывающим образом может быть представлена одним показателем, вероятностью безотказной работы $p(t)$; техническим показателем является типоразмерный ряд T_P оборудования по мощности; энергетическим показателем является к.п.д. η ; экологические показатели включают безвредность B_B и безопасность B_O .

Тогда

$$K_H = \{p(t)\}, K_T = \{T_P\}, K_{эH} = \{\eta\}, K_{эK} = \{B_B, B_O\}. \quad (2)$$

где $p(t)$ - вероятность безотказной работы, T_P - типоразмерный ряд, η - к.п.д.; B_B - безвредность и B_O - безопасность.

Экономические свойства C характеризуем капитальными вложениями. Использование этого критерия оправдано, поскольку анализируемые варианты построения систем практически идентичны по эксплуатационным затратам.

Для получения возможности аналитического описания закономерностей изменения показателей, синтез целесообразно проводить на основе отдельных единичных показателей, представив их в виде комплексных, естественным образом учитывающих часть из оставшихся единичных показателей. Такими комплексными показателями являются надежность $p(t)$, к.п.д. η и стоимость C .

Показатель типоразмерного ряда, непосредственно учитываются к.п.д. и стоимостью систем, например, использование системы СВЭ завышенной мощности из-за редкой шкалы типоразмерного ряда, приводит к росту стоимости системы и снижению его к.п.д.

Другие показатели – безвредность и безопасность сравниваемых систем приведем к одному уровню путем проведения технических мероприятий. Эти мероприятия приводят к изменению надежности и росту стоимости, следовательно, также учитываются выбранными показателями.

Таким образом, комплексные показатели надежность, к.п.д. и стоимость объединяют все 5 единичных показателей. Тогда эффективность запишем как

$$K_{\text{Э}} = f [p(t), \eta]. \quad (3)$$

где $p(t)$ - вероятность безотказной работы, η - к.п.д.

Внешними факторами, влияющими на качество системы, являются условия эксплуатации $U = \{U_{\text{И}}, U_{\text{В}}, U_{\text{Р}}\}$, где $U_{\text{И}}$ – условия использования; $U_{\text{В}}$ – дестабилизирующие воздействия; $U_{\text{Р}}$ – режимы работы.

Условия использования характеризуются видом технологического процесса T и потребляемой технологическим процессом мощностью P . Следовательно $U_{\text{И}} = \{T, P\}$.

К первичным показателям дестабилизирующих воздействий относятся климатические условия, режима работ - график потребления энергии во времени.

Последняя группа факторов, влияющих на качество системы – ограничения O_S , накладываемые на структуру и параметры систем. Приняты следующие ограничения: дискретное ограничение O_{SM} множества M_{CA} строго допустимых систем – с использованием энергии солнца S_C , ветра S_B , потока воды S_B ; ограничение O_{SC} позволяющее использовать только серийные оборудование и приборы; ограничение O_{SP} на мощность системы и расстояние, на которое передается энергия $O_{SP} = \{P_{\min} \leq P \leq P_{\max}, l \leq l_{\max}\}$.

Тогда

$$O_S = \{O_{SM}, O_{SK}, O_{SP}\}. \quad (4)$$

Таким образом, совокупность исходных данных можно записать как $D = \{CK, U, O_3\}$.

Здесь символ CK означает, что речь идет не о величине составляющих вектора K , а лишь о составе этого вектора.

Эвристическим методом была сформирована целевая функция показателя эффективности. Результирующий показатель эффективности

$$\left. \begin{aligned} K_{\Sigma} &= \sum_{i=1}^m C_{Bi} \cdot K_i'; \\ K_i' &= \frac{K_i}{K_{i6}}; i = 1, m; \\ \sum_{i=1}^m C_{Bi} &= 1, C_{Bi} > 0, i = 1, m, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где K_i' , K_i и K_{i6} – нормированное, численное и базисное значение показателя качества; C_{Bi} – весовые коэффициенты единичных показателей.

Тогда целевая функция (5) запишется как

$$K_{\Sigma} = c_{B1} p'(t) + c_{B2} \eta' = 0,751 p'(t) + 0,249 \eta'. \quad (6)$$

где $p'(t)$ и η' – нормированные значения $p(t)$ и η ; $c_{B1} = 0,751$ и $c_{B2} = 0,249$ – весовые коэффициенты $p(t)$ и η полученные в результате обработки мнений экспертов.

Результаты ранжирования, дополнительно оцененные по степени согласованности, показывают, что показатель надежности обладает явным преимуществом перед показателем к.п.д., что соответствует сложившейся практике сравнительного анализа различных автономных систем электроснабжения.

Для проведения функционально-структурного анализа систем, в соответствии с ограничением O_{SM} на их структуру, были предварительно рассмотрены устройство рассматриваемых систем. Принципиальные схемы СВЭ приведены на рисунке 2.

Сравнение систем проводим по критерию «эффективность-стоимость», при этом критерием оптимальности искомой системы будет

$$\left. \begin{aligned} K_{\Sigma} &= (C_{B1} p'(t) + C_{B2} \eta') \quad K_{орг} = \min, \\ C &= \min \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где K_{Σ} – эффективность системы, C_{B1} и C_{B2} – веса показателей качества системы, $p'(t)$ и η' – вероятность безотказной работы и к.п.д. системы приведенные к стандартному виду, $K_{орг}$ – коэффициент организационного совершенства системы, C – стоимость системы.

К стандартному виду, нормированные показатели эффективности приведены для удобства сравнения – чем меньше величина, тем лучше система при прочих равных условиях.

$$p'(t) = \frac{1-p(t)}{p_6(t)}, \quad \eta' = \frac{1-\eta}{\eta_6}, \quad (8), (9)$$

где $p_6(t) = 1$, $\eta_6 = 1$, – базисные значения $p(t)$ и η .

Уточнение результатов сравнения систем автономного электроснабжения производим по условному критерию предпочтения – показатель интегрального качества K_{Σ} , являющийся функцией эффективности и стоимости

$$K_{\Sigma} = K_{\Sigma} \cdot C = \min \quad (10)$$

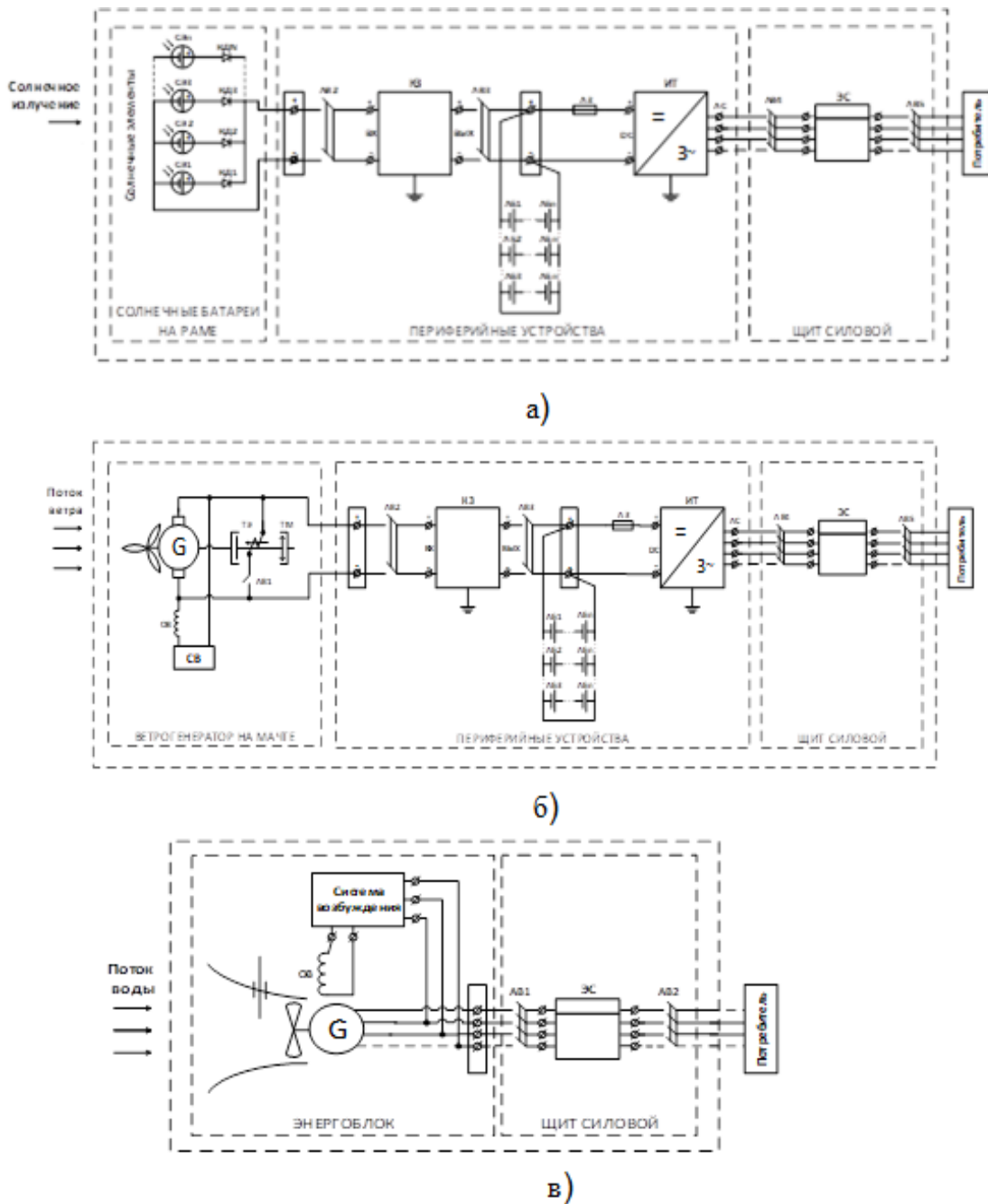


Рисунок 2 - Принципиальные схемы СВЭ с использованием энергии солнца S_C (а), энергии ветра S_B (б) и энергии потока воды S_T (в)

Структурная модель системы СВЭ с использованием солнечной энергии, составленная на основе ее принципиальной схемы, приведена на рисунке 3. Она имеет вид связанного графа типа дерева, основанием которого являются комплексы преобразователя солнечной энергии в электрическую, аккумулятора электрической энергии, инвертора постоянного тока в переменный, аппаратуры защиты электрооборудования, и кабельной линии.

Для функционального описания системы целесообразно использовать метод логической цепочки, основанный на постепенном раскрытии всей цепи последовательно связанных функций, характеризующих структуру анализируемого объекта [10].

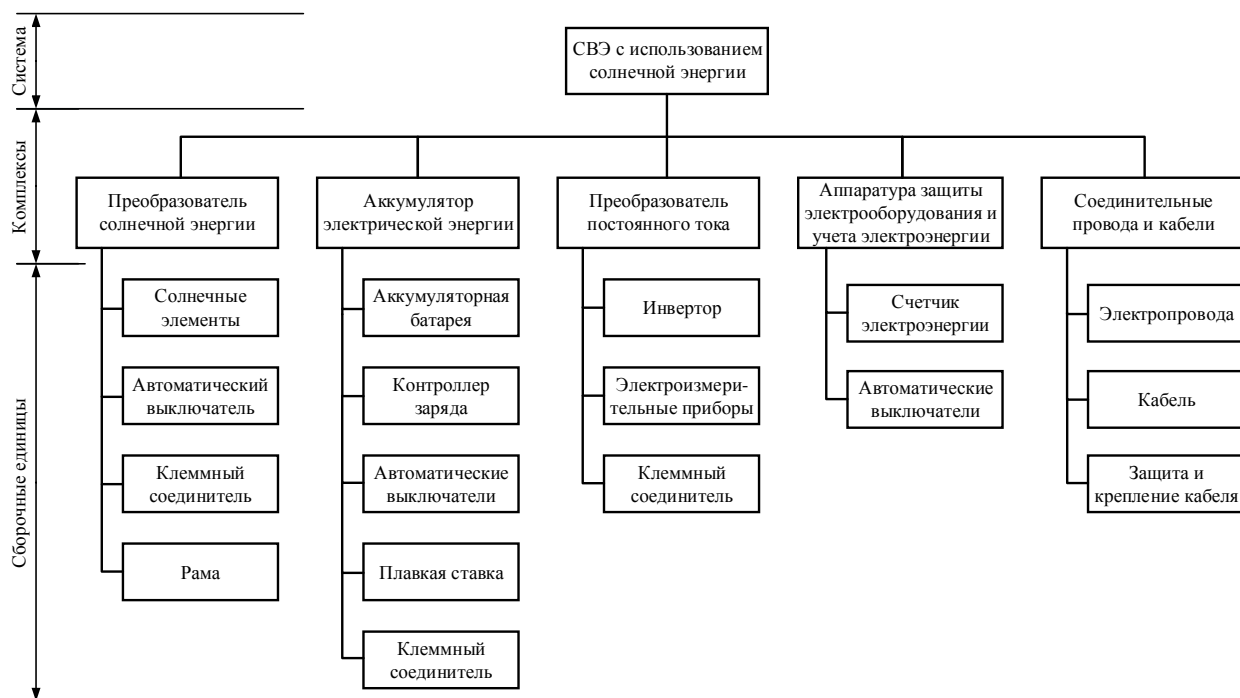


Рисунок 3 - Структурная модель системы СВЭ с использованием солнечной энергии

Диаграмма функций системы S_C , построенная по методу FAST показана на рисунке 4.

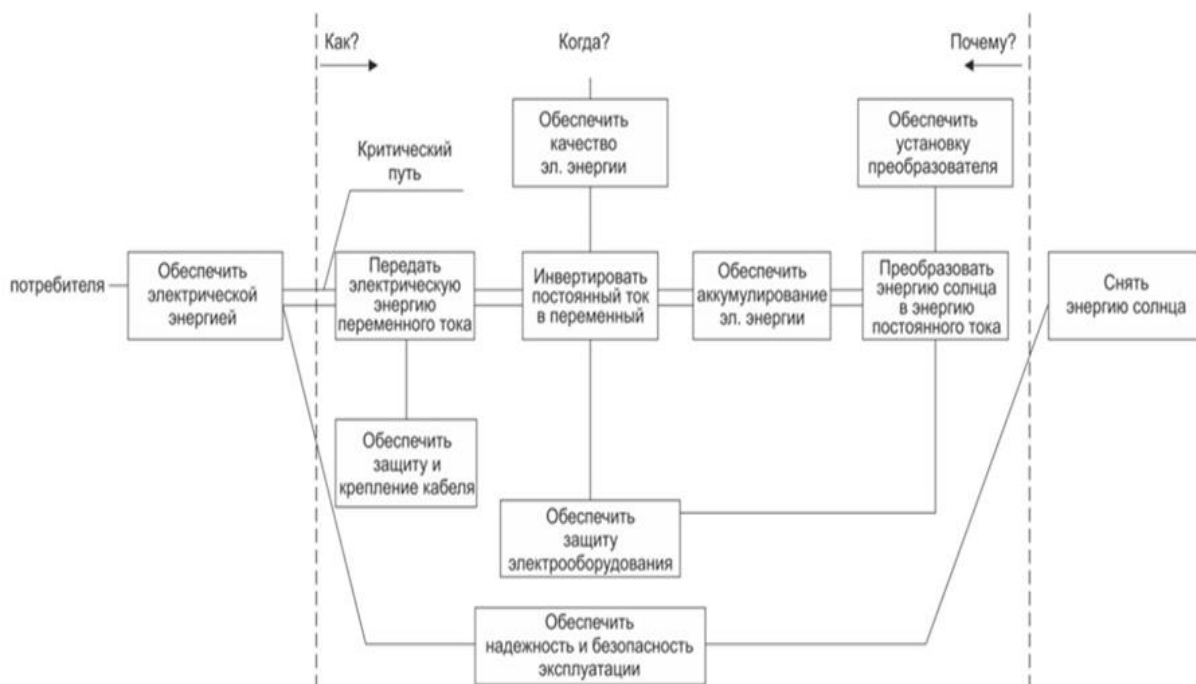


Рисунок 4 - Диаграмма функций системы ВСЭ с использованием солнечной энергии (по методу FAST)

Практическим инструментом определения взаимосвязи функций является повторяемая постановка двух основных вопросов «почему?» и «как?», которыми определяются непосредственно предшествующая и непосредственно последующая функция.

Функциональная модель системы приведена на рисунке 5. Где 1-й уровень модели составляют главная функция системы, заключающаяся в обеспечении потребителя электрической энергией, и сопутствующие ей второстепенные функции – обеспечить надежность электроснабжения и безопасность эксплуатации. Последняя, является внешней. Функции, характеризующие

последовательность преобразований и соответствующие принципу действия системы, определяют состав основных функций, входящих во II уровень модели. Дифференциация основных функций на вспомогательные, происходит на III и IV уровнях.

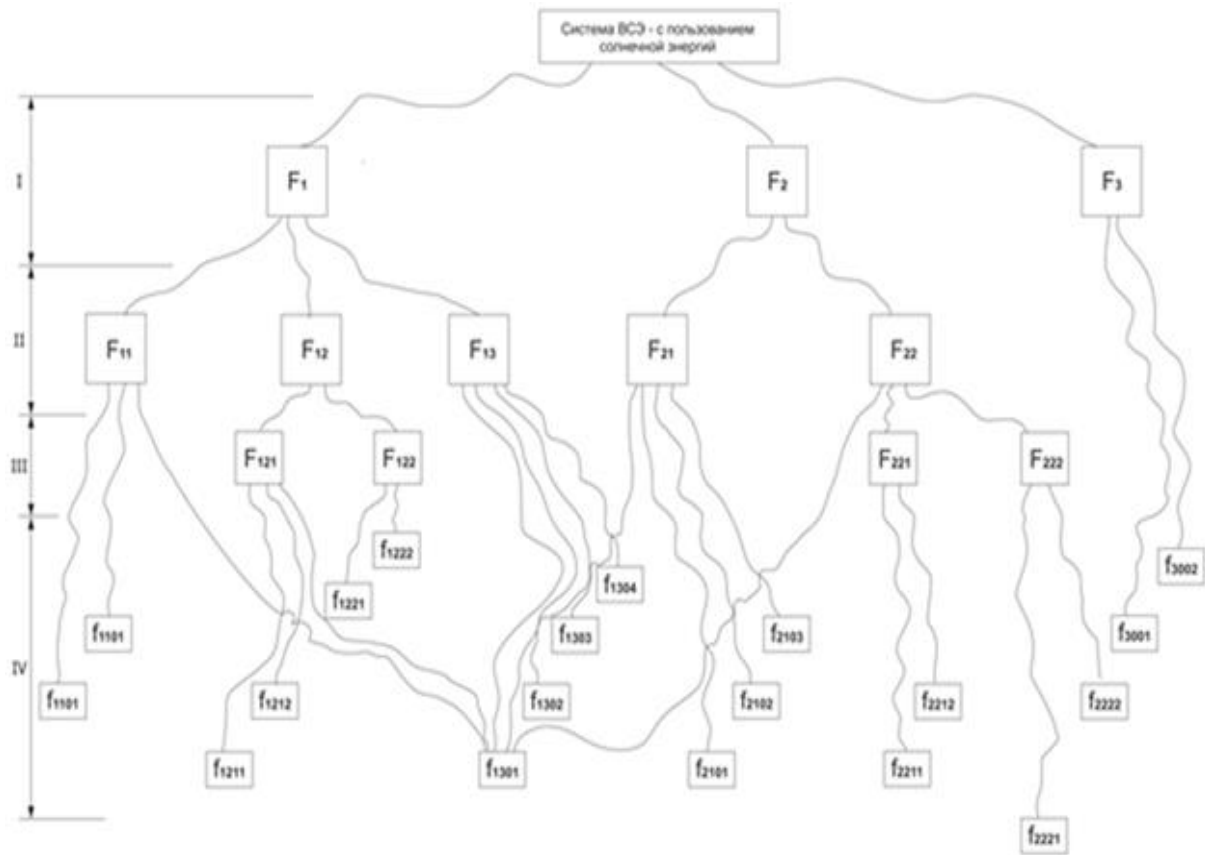


Рисунок 5 – Функциональная модель системы СВЭ с использованием солнечной энергии

F_1 – обеспечить потребителя электрической энергией; F_2 – обеспечить надежность электроснабжения; F_3 – обеспечить безопасность эксплуатации; F_{11} – преобразовать энергию солнца в электрическую энергию; F_{12} – согласовать напряжение преобразователя с напряжением потребителя; F_{13} – передать электрическую энергию потребителю; F_{14} – защитить электрооборудование; F_{21} – аккумулялировать электрическую энергию; F_{111} – обеспечить работу солнечных элементов; F_{112} – обеспечить отслеживание положения солнца элементом; F_{121} – инвертировать постоянный ток в переменный; F_{122} – обеспечить качество напряжения; F_{211} – обеспечить работу аккумуляторных батарей; F_{212} – оптимизировать режим зарядки и разрядки аккумуляторных батарей; f_{1111} , f_{1211} , f_{2111} – обеспечить необходимую мощность; f_{1112} – обеспечить установку элементов; f_{1113} , f_{1213} , f_{2113} – обеспечить электрическое соединение с элементами системы; f_{1121} – обеспечить возможность поворота панелей; f_{1122} – автоматически отслеживать положение Солнца; f_{1212} – обеспечить установку инвертора; f_{1221} – обеспечить номинальную частоту напряжения; f_{1222} – обеспечить номинальное напряжение; f_{1301} – учет электроэнергии; f_{1302} – обеспечить прокладку кабеля; f_{1303} – обеспечить качество напряжения; f_{1401} – контролировать ток нагрузки; f_{1402} – контролировать напряжение; f_{1403} – контролировать частоту напряжения; f_{1404} – защищать от короткого замыкания; f_{1405} – защищает от перегрузок; f_{1406} – обеспечить электрическую изоляцию элементов; f_{2112} – обеспечить установку аккумуляторных батарей; f_{2121} – контролировать уровень заряда аккумуляторных батарей; f_{2122} – автоматически включать и отключать источник питания и нагрузку; f_{3001} – изолировать электрооборудование от внешней среды; f_{3002} – ограничить доступ к солнечным элементам; f_{3003} – ограничить доступ к защитным аппаратам.

Выявление связей между элементами системы осуществляем по матрицам связей «элемент-элемент» (таблица 1), в которых явные контактные (физический контакт) связи отмечены буквой «Ф», неявные корреляционные (косвенные воздействия) – «К». Внутри каждой разновидности связей выделяем вредные (-), нейтральные (\pm), полезные (+), а также прямые «П», обратные «О» и выполнения функции согласования «С».

Элементы материальные носители	1				2				3				4			
	Солнечные элементы	Автомат. выключатель	Клеммный соединитель	Рама	Автомат. выключатель	Контроллер заряда	Автомат. выключатель	Клеммный соединитель	Аккумулятор	Плавная вставка	Инвертор	Счетчик электроэнергии	Автомат. выключатель	Клеммный соединитель	Кабель	Защита и крепление кабеля
Солнечные элементы	Ф о (+)	Ф п (±)	Ф о (+)	Ф о (+)	Ф п (+)	Ф п (+)										Ф п (±)
1 Автомат. выключатель	Ф о (+)	Ф о (±)	Ф п (+)	Ф о (+)	Ф п (+)	Ф п (+)										Ф п (±)
1 Клеммный соединитель	Ф о (±)	Ф о (±)	Ф о (±)	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (±)										Ф п (±)
Рама	Ф п (+)	Ф п (+)	Ф п (±)													
2 Автомат. выключатель	Ф о (+)	Ф о (+)	Ф о (±)		Ф п (+)											Ф п (±)
Контроллер заряда	Ф о (+)	Ф о (+)	Ф о (±)		Ф о (+)	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф с (+)	Ф п (+)	Ф с (+)	Ф п (+)	Ф с (+)	Ф п (+)			Ф п (±)
3 Автомат. выключатель					Ф о (+)	Ф о (±)	Ф п (±)	Ф п (+)	Ф п (+)	Ф п (+)	Ф п (+)					Ф п (±)
2 Клеммный соединитель					Ф о (±)	Ф о (±)	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (±)					Ф п (±)
Аккумулятор	К о (+)				Ф с (+)	Ф о (+)	Ф о (±)	Ф о (±)	Ф п (+)	Ф о (+)	Ф п (+)					Ф п (±)
Плавная вставка					Ф о (+)	Ф о (+)	Ф о (±)	Ф о (+)	Ф о (+)	Ф о (+)	Ф п (+)					Ф п (±)
Инвертор	К о (+)				Ф с (+)	Ф о (+)	Ф о (±)	Ф о (+)	Ф о (+)	Ф о (+)	Ф п (+)	Ф п (+)	Ф п (±)	Ф п (+)		Ф п (±)
Счетчик электроэнергии										Ф о (+)	Ф п (+)	Ф п (+)	Ф п (±)	Ф п (+)		Ф п (±)
4 Автомат. выключатель										Ф о (+)	Ф о (+)	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (+)		Ф п (±)
3 Клеммный соединитель										Ф о (±)	Ф о (±)	Ф о (±)	Ф о (±)	Ф п (±)		Ф п (±)
Кабель										Ф о (+)	Ф о (+)	Ф о (+)	Ф о (+)		Ф п (+)	К п (±)
Защита и крепление кабеля														Ф п (+)		
Электропровода	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (±)		Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (±)	Ф п (±)	К п (±)		

Таблица 1 - Матрица связей элементов системы СВЭ с использованием солнечной энергии.

На основе анализа структурной, функциональной, функционально-структурной моделей, а также матрицы связей систем оценена функциональная организованность систем СВЭ. (Таблица 2.)

Таблица 2 – Коэффициенты функционально-структурного совершенства систем передачи энергии.

S	Коэффициенты													
	Актуализации				Сосредоточение				Совместимости				Функциональной широты $K_{ш}$	Функциональной организованности $K_{орг}$
	Функций $K_{аФ}$	Элементы $K_{аН}$	Связей $K_{аС}$	Среднее K_a	Функций $K_{Ф}$	Элементов $K_{Н}$	Связей $K_{С}$	Среднее K_k	Функций $K_{СФ}$	Элементов $K_{СН}$	Связей $K_{СС}$	Среднее $K_{СС}$		
S_c	1	1	0,47	0,82	0,6	0,5	0,53	0,54	0,65	0,87	0,96	0,83	1	0,8
S_B	1	1	0,6	0,87	0,65	0,63	0,5	0,59	0,7	0,84	0,96	0,83	1	0,82
S_T	1	1	0,61	0,87	0,62	0,54	0,61	0,59	0,85	1	1	0,95	1	0,85

Зная коэффициент функциональной организованности системы $k_{\text{орг}}$, скорректированный показатель эффективности систем $K'_{\text{э}}$ находим как

$$K'_{\text{э}} = \frac{K_{\text{э}}}{k_{\text{орг}}}. \quad (11)$$

Приняты следующие ограничения OSP: мощность системы $1 \text{ кВт} \leq P_{\text{ном}} \leq 100 \text{ кВт}$, величина и частота напряжения потребителя $\{U_{\text{н}} = 380/220 \text{ В}; f_{\text{н}} = 50 \text{ Гц}\}$; расстояние на которое передается энергия от первичного источника до помещения для электрооборудования $l = 10 \text{ м}$ для SC, $l = 100 \text{ м}$ для SB и $l = 50 \text{ м}$ для SG. Базовые условия работы системы приняты средней тяжести [11].

Эффективность и стоимость каждой из систем запишем как

$$\left. \begin{aligned} K_{\text{эс}} &= C_{\text{в1}} p_{\text{C}}(t) + C_{\text{в2}} \eta_{\text{C}} \\ K_{\text{эв}} &= C_{\text{в1}} p_{\text{B}}(t) + C_{\text{в2}} \eta_{\text{C}} \\ K_{\text{эг}} &= C_{\text{в1}} p_{\text{Г}}(t) + C_{\text{в2}} \eta_{\text{C}} \\ C_{\text{C}} &= f_1(P), C_{\text{B}} = f_1(P), C_{\text{Г}} = f_1(P) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Зависимости $p'(t)$, η' , $C = \varphi(P)$, были показаны в виде графиков, путем расчета каждого из систем передачи энергии для нескольких значений P в пределах заданного диапазона.

Вероятность безотказной работы, к.п.д. и стоимость СВЭ с использованием солнечной энергии найдем как

$$\left. \begin{aligned} p'_{\text{с}}(t) &= 1 - p_{\text{ссб}}(t) \cdot p_{\text{скз}}(t) \cdot p_{\text{син}}(t) \cdot p_{\text{саб}}(t) \cdot p_{\text{са1}}(t) \cdot p_{\text{са2}}(t) \cdot p_{\text{са4}}(t) \times \\ &\quad \times p_{\text{ссэ}}(t) \cdot p_{\text{скл}}(t); \\ \eta'_{\text{с}} &= 1 - \eta_{\text{скз}} \cdot \eta_{\text{син}} \cdot \eta_{\text{саб}} \cdot \eta_{\text{ссэ}} \cdot \eta_{\text{скл}}; \\ C_{\text{с}} &= C_{\text{ссб}} + C_{\text{ско}} + C_{\text{скр}} + C_{\text{скз}} + C_{\text{син}} + C_{\text{саб}} + C_{\text{сст}} + C_{\text{са1}} + C_{\text{са2}} + \\ &\quad + C_{\text{са4}} + C_{\text{ссэ}} + C_{\text{скл}} + C_{\text{сзк}}; \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

То же для СВЭ с использованием энергии ветра

$$\left. \begin{aligned} p'_{\text{в}}(t) &= 1 - p_{\text{ввг}}(t) \cdot p_{\text{вкз}}(t) \cdot p_{\text{вин}}(t) \cdot p_{\text{ваб}}(t) \cdot p_{\text{ва2}}(t) \times \\ &\quad \times p_{\text{ва4}}(t) \cdot p_{\text{всэ}}(t) \cdot p_{\text{вкл}}(t); \\ \eta'_{\text{в}} &= 1 - \eta_{\text{ввг}} \cdot \eta_{\text{вкз}} \cdot \eta_{\text{вин}} \cdot \eta_{\text{ваб}} \cdot \eta_{\text{всэ}} \cdot \eta_{\text{вкл}}; \\ C_{\text{в}} &= C_{\text{ввг}} + C_{\text{вкз}} + C_{\text{вин}} + C_{\text{ваб}} + C_{\text{вст}} + C_{\text{ва2}} + C_{\text{ва4}} + C_{\text{всэ}} + \\ &\quad + C_{\text{вкл}} + C_{\text{взк}}; \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

То же для СВЭ с использованием энергии потока воды

$$\left. \begin{aligned} p'_\Gamma(t) &= 1 - p_{\Gamma\text{МГ}}(t) \cdot p_{\Gamma\text{А4}}(t) \cdot p_{\Gamma\text{СЭ}}(t) \cdot p_{\Gamma\text{КЛ}}(t), \\ \eta'_\Gamma &= 1 - \eta_{\Gamma\text{МГ}} \cdot \eta_{\Gamma\text{СЭ}} \cdot \eta_{\Gamma\text{КЛ}} \\ C_\Gamma &= C_{\Gamma\text{МГ}} + C_{\Gamma\text{А4}} + C_{\Gamma\text{СЭ}} + C_{\Gamma\text{КЛ}} + C_{\Gamma\text{ЗК}} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Находим скорректированный показатель эффективности системы с использованием коэффициента функциональной организованности

$$\left. \begin{aligned} K_{\text{ЭС}} &= \frac{1}{K_{\text{орг С}}} (c'_{\text{В1}} \cdot P'_\text{С}(t) + c'_{\text{В2}} \cdot \eta'_\text{С}); \\ K_{\text{ЭВ}} &= \frac{1}{K_{\text{орг В}}} (c'_{\text{В1}} \cdot P'_\text{В}(t) + c'_{\text{В2}} \cdot \eta'_\text{В}); \\ K_{\text{ЭГ}} &= \frac{1}{K_{\text{орг Г}}} (c'_{\text{В1}} \cdot P'_\text{Г}(t) + c'_{\text{В2}} \eta'_\text{Г}); \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

где $K_{\text{орг С}}$, $K_{\text{орг В}}$, $K_{\text{орг Г}}$ – коэффициенты функциональной организованности систем; $c'_{\text{В1}} = 1/c_{\text{В1}}$ и $c'_{\text{В2}} = 1/c_{\text{В2}}$ – стандартные весовые коэффициенты комплексных показателей качества соответственно вероятности безотказной работы и к.п.д.

Определяем показатель интегрального качества систем

$$\left. \begin{aligned} K_{\Sigma\text{С}} &= K_{\text{ЭС}} \cdot C_{\text{С}} \\ K_{\Sigma\text{В}} &= K_{\text{ЭВ}} \cdot C_{\text{В}} \\ K_{\Sigma\text{Г}} &= K_{\text{ЭГ}} \cdot C_{\text{Г}} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Условием определения наилучшей системы является критерий

$$K_\Sigma = \min \quad (18)$$

Результаты работы

Для синтеза структуры системы по эксплуатационным свойствам и отдельным единичным показателям, разработаны алгоритм и программа расчета на ПЭВМ, позволяющая отыскать оптимальную структуру построения автономных СВЭ для конкретного случая и найти зоны оптимального использования различных систем в пределах принятых ограничений.

Результаты синтеза по критерию "эффективность - стоимость" приведены на рисунке ба. Как видно из рисунка, при заданных условиях и во всем диапазоне изменения $P_{\text{потр}}$, и по комплексному показателю качества K_Σ и по стоимости C наилучшим из сравниваемых систем является система S_B . Из оставшихся систем – S_C лучше S_Γ по показателю K_Σ , но хуже по C , соответственно S_Γ лучше S_C по показателю C , но хуже по K_Σ . Таким образом, использование безусловного критерия предпочтения не позволило определить худшую систему.

Тогда для доведения задачи синтеза до конца используем показатель интегрального качества K_Σ в соответствии с условием (18). Из рисунка бб видно, что наилучшим является система S_B .

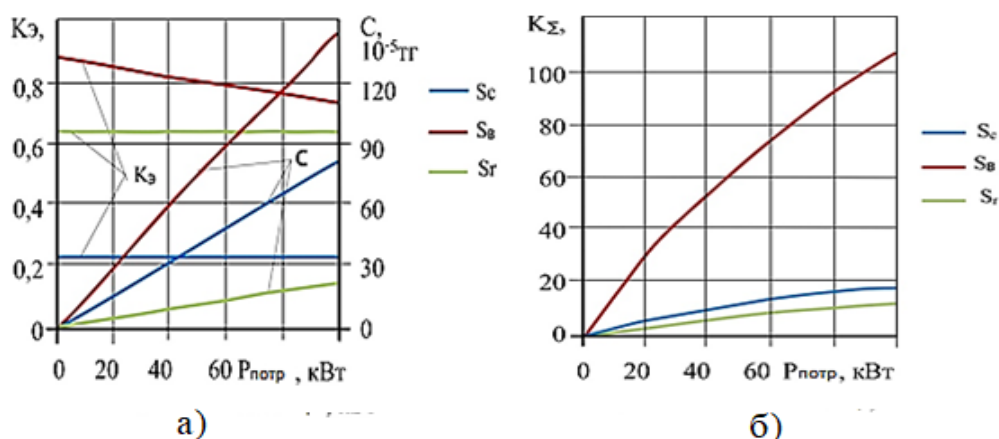


Рисунок 6 - Результаты синтеза СВЭ по критерию "эффективность - стоимость" (а) и по показателю интегрального качества (б).

Полученные результаты объясняются относительной простотой микроГЭС, отсутствием необходимости накопления электрической энергии, и возможностью вырабатывать электроэнергию промышленной частоты и напряжения непосредственно электромашинным генератором. Система S_B , в части ветрогенератора, значительно сложнее солнечных элементов и дороже, менее надежна.

Результаты синтеза структуры по эффективности функционирования системы $K_{\text{э}}$ и стоимости C приведены на рисунке 6а и по частным показателям эффективности $\rho(t)$ и η на рисунках 7а и 7б. Как видим, по критерию $K_{\text{э}} = \min$ предпочтительной является система S_C имеющая $K'_{\text{эГ}} = 0,21$, далее следует S_r с $K'_{\text{эГ}} = 0,67-0,62$, S_B с $K'_{\text{эВ}} = 0,83-0,78$ является наименее предпочтительной. По стоимости безусловным преимуществом обладает система S_r . Система S_C по стоимости лучше S_B во всем диапазоне мощности. При этом преимущество каждой из систем S_r и S_C с увеличением мощности растёт.

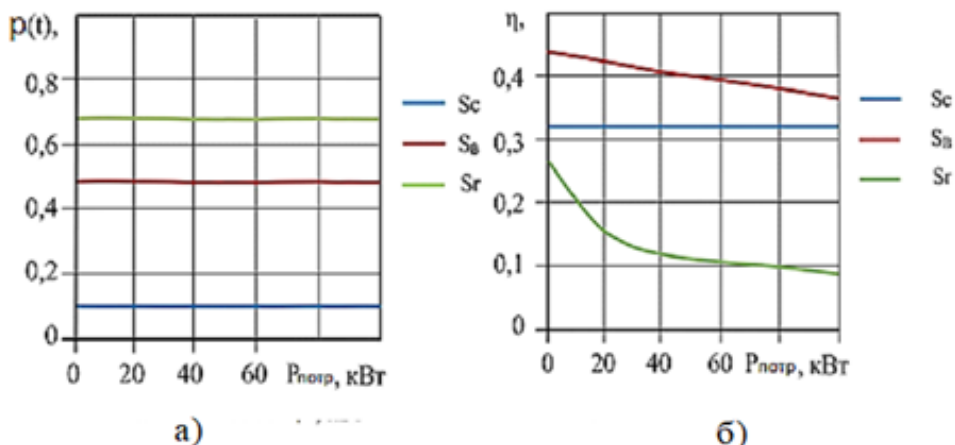


Рисунок 7 - Результаты синтеза структуры СВЭ по частым показателям

$$\rho'(t) = f(P_{\text{потр}}) \text{ и } \eta' = f(P_{\text{потр}}).$$

По вероятности безотказной работы лучшей является система S_C с $\rho'(t) = 0,12$, далее S_B с $\rho'(t) = 0,49$ и S_r с $\rho_r'(t) = 0,67$. По к.п.д. большим превосходством обладает система S_r , с увеличением мощности ее преимущество растет. На втором месте находится система S_C , и далее S_B .

Выводы

Разработан метод синтеза оптимального СВЭ в зависимости от условий эксплуатации и мощности потребителя по критерию «эффективность - стоимость», интегральному показателю качества, комплексному критерию эффективности. Разработаны алгоритм и программа расчета на ПЭВМ, позволяющая отыскать оптимальную структуру построения автономных СВЭ для конкретного случая и найти зоны оптимального использования различных систем в пределах принятых ограничений. Проведен синтез оптимального СВЭ в зависимости от условий эксплуатации и мощности потребителя по различным критериям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Программа "Энергосбережение - 2020" (изменения на 29 августа 2013). Постановление Правительства Республики Казахстан от 29 августа 2013 года № 904.
- [2] Karatayev M., Michèle L. Clarke A review of current energy systems and green energy potential in Kazakhstan/ Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 55, March 2016, Pages 491-504
- [3] Таранов М.А., Воронин С.М. Оптимизация параметров ветроэнергетической установки для фермерского хозяйства. //Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. – № 5. – С.37-39.
- [4] Григорьева О.А., Кривенко Т.В., Тремясов В.А. Анализ надежности автономного ветродизельного комплекса. / Энергетика. Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2(243) 2016.С. 45-52
- [5] Baoping C., Yonghong L., Yunpeng M., Lei H., Zengkai L. A framework for the reliability evaluation of grid-connected photovoltaic systems in the presence of intermittent faults / C. Baoping, L. Yonghong, M. Yunpeng, H. Lei, L. Zengkai // Elsevier Ltd. All rights reserved - 2015. – Vol. 93, P.1308-1320.
- [6] Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика. –М.: ФИЗМАТЛИТ. 2010. - 256 с.
- [7] Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебн. пос. – М.: КНОРУС, 2010. – 232 с.
- [8]Gonzales A., Riba J., Rius A., Puig R. Optimal sizing of a hybrid gridconnected photovoltaic and wind power system // Applied Energy. – 2015. – Vol. 154. – P. 752-762.
- [9] Кешуов С.А., Байсенова Г.С., Молдыбаева Н.И. Обоснование исходных данных и функциональный анализ систем автономного электроснабжения на основе ВИЭ для синтеза их оптимальной структуры. // Материалы международной научно-практической конференции. И «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса» Ташкент 2018. С326-331.
- [10] Кешуов С.А. Синтез структуры систем приводов рабочих органов мобильных сельскохозяйственных машин по критерию эффективности функционирования. //Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана №5, 1995. С114-122
- [11] Mohammadi M., Ghasempour R., Toopshekan A. Optimal planning of renewable energy resource for a residential house considering economic and reliability criteria.// International Journal of Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – Vol. 96. – P. 261-273

LIST OF REFERENCES

- [1] Programma «Energoberezhenie – 2020» (izmeneniia na 29 avgusta 2013) Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazakhstan ot 29 avgusta 2013 goda 904
- [2] Karatayev M., Michèle L. Clarke A review of current energy systems and green energy potential in Kazakhstan/ Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 55, March 2016, Pages 491-504
- [3] Taranov M. A. Voronin S. M. Optimizatsiia parametrov vetroenergeticheskoi ustanovki dlia fermerskogo khoziaistva. Mekhanizatsiia i elektrifikatsiia selskogo khoziaistva 2000 5 S 37-39
- [4] Grigoreva O.A., Krivenko T.V., Tremiasov V.A. Analiz nadezhnosti avtonomnogo vetrodizelnogo kompleksa. /Energetika. Nauchno-tekhnicheknie vedomosti Cankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta 2 243 2016 S 45-52

[5] Baoping C Yonghong L Yunpeng M Lei H Zengkai L A framework for the reliability evaluation of grid-connected photovoltaic systems in the presence of intermittent faults C Baoping L Yonghong M Yunpeng H Lei L Zengkai Elsevier Ltd All rights reserved - 2015 Vol 93 P 1308-1320

[6] Alhasov A.B. Vozobnovlyaemaya energetika. –M._ FIZMATLIT. 2010. _ 256 s.

[7] Sibikin Yu.D._ Sibikin M.Yu. Netradicionnie i vozobnovlyaemie istochniki energii_ uchebn. pos. – M._ KNORUS_ 2010. – 232 s. [6]Gonzales A., Riba J., Rius A., Puig R. Optimal sizing of a hybrid gridconnected photovoltaic and wind power system // Applied Energy. – 2015. – Vol. 154. – P. 752-762.

[8]Gonzales A., Riba J., Rius A., Puig R. Optimal sizing of a hybrid gridconnected photovoltaic and wind power system // Applied Energy. – 2015. – Vol. 154. – P. 752-762.

[9] Keshuov S.A., Baisenova G.S., Moldybaeva N.I. Obosnovanie iskhodnykh dannykh i funktsionalnyi analiz sistem avtonomnogo elektrosnabzheniia na osnove VIE dlia sinteza ikh optimalnoi struktury // Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii Tashkent 2018. S326-331

[10] Keshuov S.A. Sintez struktury sistem privodov rabochikh organov mobilnykh selsskhoz mashin po kriteriiu effektivnosti funktsionirovaniia [Tekst] Vestnik selsskokhoziaistvennoi nauki Kazakhstana 5 1995 S114-122

[11] Mohammadi M., Ghasempour R., Toopshekan A. Optimal planning of renewable energy resource for a residential house considering economic and reliability criteria.// International Journal of Electrical Power and Energy Systems. – 2018. – Vol. 96. – P. 261-273

ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІ НЕГІЗІНДЕ АВТОНОМДЫ ЭНЕРГИЯМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫН СИНТЕЗДЕУ

С.А. Кешуов¹, Г.С. Байсенова¹, Н.И. Молдыбаева²

¹ЖШС «Агроинженерия Ғылыми-Өндірістік Орталығы» (ЖШС «АҒӨО»), Алматы қ., Қазақстан

²КеАҚ «Қазақ Ұлттық Аграрлық Зерттеу Университеті», Алматы қ., Қазақстан

E-mail: keshuov@mail.ru, baisenova61@mail.ru, moldybayeva78@mail.ru

Андатпа. Мақалада «тиімділік-құн» критерийіне, сапаның интегралдық көрсеткіші бойынша, тиімділіктің кешенді критерийіне, жүйенің сапасы мен өзіндік құнының жеке көрсеткіштеріне сәйкес жұмыс жағдайына және тұтынушының қуатына байланысты жаңартылатын энергиямен қамтамасыз ету жүйесінің оңтайлы жүйені синтездеу мәселелері қарастырылады.

Мақалада жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) пайдалана отырып, агроөнеркәсіптік кешендерін (АӨК) автономды энергиямен жабдықтаудың оңтайлы жүйелерін құру мәселелері қарастырылады, мұнда әртүрлі ЖЭК-ті оңтайлы пайдалану аймақтарын бөлу заңдылықтарын және олардың пайдалану және экономикалық көрсеткіштерін салыстыру арқылы оларды үйлестірудің проблеммасы өзекті болып табылады. ЖЭК әр түрлі түрлерін оңтайлы қолдану аймақтарын анықтаудың тиімді құралы объектіге кешенді талдау жүргізуге және зерттеулерді қатаң жүйелеуге, сондай-ақ синтездеуге, яғни берілген жағдайлар үшін оңтайлы жүйені табуға мүмкіндік беретін жүйелі тәсіл болып табылады. «Тиімділік-құн» критерийіне, сапаның интегралдық көрсеткіші бойынша, тиімділіктің кешенді критерийіне, жүйенің сапасы мен өзіндік құнының жеке көрсеткіштеріне сәйкес жұмыс жағдайына және тұтынушының қуатына байланысты жаңартылатын энергиямен қамтамасыз ету жүйесінің оңтайлы жүйені синтездеу мәселелері қарастырылады. Алгоритм және бағдарламалық жасақтама әзірленді, бұл нақты жағдайлар үшін жаңартылатын энергиямен жабдықтаудың автономды жүйелерін құрудың оңтайлы құрылымын табуға және осылайша қабылданған шектеулерге байланысты әртүрлі жүйелерді оңтайлы пайдалану аймақтарын анықтауға мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: жаңартылатын энергиямен қамтамасыз ету жүйелері, жүйелік талдау, функционалдық талдау, жүйенің оңтайлы құрылымын синтездеу, «тиімділік- құн» критерийі.

SYNTHESIS OF THE STRUCTURE OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

S.A. Keshuov¹, G.S. Baisenova¹, N.I. Moldybaeva²

¹LTD «Scientific Production Center of Agricultural Engineering» (SPCAE) Almaty, Kazakhstan

²Non-profit joint-stock company “Kazakh National Agrarian Research University”,
Almaty, Kazakhstan

E-mail: keshuov@mail.ru, baisenova61@mail.ru, moldybayeva78@mail.ru

Annotation. *The article deals with the issues of constructing optimal systems of Autonomous energy supply for the agro-industrial complex (AIC) using renewable energy sources (RES), where the problem of identifying patterns of distribution of zones of optimal use of various RES and their combination by comparing their operational and economic indicators is relevant. An effective tool for determining the areas of optimal use of various types of RES is a systematic approach that allows you to conduct a comprehensive analysis of the object and strictly systematize research, as well as to carry out synthesis, i.e. to find a system that is optimal for the given conditions. The optimal structure of the renewable energy supply system is synthesized depending on the operating conditions and the capacity of the consumer according to the "efficiency-cost" criterion, an integral quality indicator, a complex efficiency criterion, and particular indicators of the quality and cost of systems. An algorithm and software were developed that allowed finding the optimal structure for building Autonomous renewable energy systems for specific cases and thereby determining the optimal use zones of various systems depending on the accepted restrictions.*

Key words: *renewable energy supply systems, system analysis, functional analysis, synthesis of the optimal structure of the system, the criterion "efficiency-cost".*

Басылымның шығыс деректері

Мерзімді баспасөз басылымының атауы	«Алматы энергетика және байланыс университетінің Хабаршысы» ғылыми-техникалық журналы
Мерзімді баспасөз басылымының меншік иесі	«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы
Бас редактор	Профессор, т.ғ.к., В.В. Стояк
Қайта есепке қою туралы куәліктің нөмірі мен күні және берген органның атауы	№ KZ14VPY00024997, күні 17.07.2020, Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігі
Мерзімділігі	Жылына 4 рет (тоқсан сайын)
Мерзімді баспасөз басылымының реттік нөмірі және жарыққа шыққан күні	Жалпы нөмір 53, 2-басылым, 2021 жылғы 30 маусым
Басылым индексі	74108
Басылым таралымы	200 дана
Баға	Келісілген
Баспахана атауы, оның мекен-жайы	«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ баспаханасы, Байтұрсынұлы көшесі, 126/1 үй, А120 каб.
Редакцияның мекен-жайы	050013, Алматы қ., «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, Байтұрсынұлы к-сі, 126/1 үй, каб. А 224, тел.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: vestnik@aes.kz

Выходные данные

Название периодического печатного издания	Научно-технический журнал «Вестник Алматинского университета энергетика и связи»
Собственник периодического печатного издания	Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетика и связи имени Гумарбека Даукеева»
Главный редактор	Профессор, к.т.н., Стояк В.В.
Номер и дата свидетельства о постановке на учет и наименование издавшего органа	№ KZ14VPY00024997 от 17.07.2020 Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан
Периодичность	4 раза в год (ежеквартально)
Порядковый номер и дата выхода в свет периодического печатного издания	Валовый номер 53, выпуск 2, 30 июня 2021
Подписной индекс	74108
Тираж выпуска	200 экз.
Цена	Договорная
Наименование типографии, ее адрес	Типография НАО «Алматинский университет энергетика и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. Байтұрсынұлы, дом 126/1, каб. А 120
Адрес редакции	050013, г. Алматы, НАО «Алматинский университет энергетика и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. Байтұрсынұлы, дом 126/1, каб. А 224, тел.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: vestnik@aes.kz

Issue output

Name of the periodical printed publication	Scientific and technical journal "Bulletin of the Almaty University of Power Engineering and Telecommunications"
Owner of the periodical printed publication	Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev"
Chief Editor	Professor, candidate of technical sciences Stoyak V.V.
Number and date of the registration certificate and the name of the issuing authority	№ KZ14VPY00024997 from 17.07.2020 Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan
Periodicity	4 times a year (quarterly)
Serial number and date of publication of a periodical printed publication	Number 53, edition 2, June 30, 2021
Subscription index	74108
Circulation of the issue	200 copies
Price	Negotiable
The name of the printing house, its address	Printing house of Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev", 126/1 Baitursynuly str., office A 120
Editorial office address	050013, Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev", A 224, tel.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: vestnik@aes.kz