

УДК 658.261.001.63:502.174.3

*С.М. Асанова*<sup>1</sup>, [a sm07@mail.ru](mailto:sm07@mail.ru),

*С.М. Суеркулов*<sup>2</sup>, [s\\_suerkulov@list.ru](mailto:s_suerkulov@list.ru),

*А.Б. Бакасова*<sup>3</sup>, [bakasovaaina@mail.ru](mailto:bakasovaaina@mail.ru),

*К. Сатаркулов*<sup>3</sup>, *М.С. Асанов*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова, 720044, Кыргызстан, г. Бишкек, пр. Мира, 66,

<sup>2</sup>ТЭЦ города Бишкека, 720070, Кыргызстан, г. Бишкек, пр. Жибек Жолу, 326,

<sup>3</sup>Институт машиноведения и автоматизации Национальной академии наук Кыргызской Республики, 720055, Кыргызстан, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23,

## МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АВТОНОМНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

В работе предложена методика проектирования интеллектуальных систем автономных распределенных гибридных энергокомплексов (АРГЭК), обеспечивающих минимум потребляемой энергии от глобальной (общегосударственной) сети и дизельных электростанций для электроснабжения региональных бытовых и/или промышленных потребителей за счет максимального полезного использования энергии, генерируемых на основе возобновляемых источников энергии в самих системах АРГЭК как в нормальных, так и в аварийных режимах их функционирования, т.е. за счет аккумуляции излишков энергии в период ее избытка и отдачи потребителям в период дефицита; минимизации потерь электрической энергии путем эффективного управления потоками мощностей, циркулируемых в системах АРГЭК. Методика включает следующие этапы (подзадачи): разработка структуры распределенной гибридной системы генерации и транспортировки электроэнергии от источников до потребителей; разработка системы диагностики отказов генерирующих агрегатов и обрывов проводов на участках локальных сетей транспортировки электроэнергии и управления, по результатам диагностики, потоками мощностей, циркулируемых в системах АРГЭК как в нормальных, так и в аварийных режимах, с целью обеспечения баланса мощностей и минимизации их потерь.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии; автономный распределенный гибридный энергокомплекс; интеллектуальные системы; распознавание обрывов проводов; система диагностики и управления; энергетический баланс; потери электроэнергии.

**Введение.** Общеизвестно, что приоритетным и перспективным направлением развития современной энергетики является разработка и внедрение автономных энергокомплексов, функционирующих на возобновляемых (нетрадиционных) источниках энергии (ВИЭ), область практического применения которых можно разбить на два направления:

- автономные энергокомплексы для децентрализованного электроснабжения потребителей, территориально расположенные в отдаленных труднодоступных районах и не имеющие доступ к глобальной (общегосударственной) сети (ГС). Такие комплексы обычно функционируют за счет энергии, получаемой от дизельных электростанций (ДЭС) и ВИЭ [1-5];

- автономные энергокомплексы для электроснабжения потребителей целого региона, имеющие доступ к ГС. Такие комплексы функционируют за счет энергии,

получаемой из ГС, ДЭС, ВИЭ. Назначением этих комплексов является разгрузка глобальной энергосистемы за счет использования энергии ДЭС и ВИЭ [6]. Следует отметить, что комплексы такого класса могут быть использованы также для электроснабжения отдельных промышленных предприятий.

В вышеуказанной работе [6] разработана методика создания универсальной системы автоматизированного проектирования автономных распределенных гибридных энергокомплексов (АРГЭК) и методика управления энергетическим балансом в них, т.е. потоками мощностей, циркулирующих в этой системе. Предложенная обобщенная схема методики проектирования АРГЭК состоит из следующих этапов: исследование и создание базы статистических данных об электрических нагрузках потребителей, о скорости ветра рассматриваемого региона, о гидроэнергетических ресурсах горных и равнинных рек, о солнечной энергии, а также исследование и создание базы знаний о преобразователях энергии ветра и энергии воды в электрическую энергию. Рассмотрена задача синтеза оптимальной структуры распределенной гибридной системы генерации, обеспечивающей требуемый уровень генерируемой мощности и минимальную стоимость.

Настоящая работа является логическим продолжением вышеуказанной работы [6] и посвящена разработке методики проектирования интеллектуальных систем АРГЭК, обеспечивающих минимум потребляемой энергии от ГС и ДЭС для электроснабжения региональных бытовых и/или промышленных потребителей за счет максимального полезного использования энергии, генерируемых на основе ВИЭ в самих системах АРГЭК, как в нормальных, так и в аварийных режимах их функционирования, т.е. за счет:

- аккумуляирования излишков энергии с использованием систем аккумуляторных батарей (АКБ) в период ее избытка и отдачи потребителям в период дефицита;
- минимизации потерь электрической энергии путем эффективного управления потоками мощностей, циркулируемых в системах АРГЭК как в нормальных, так и в аварийных режимах.

Ниже приведена обобщенная функциональная схема интеллектуальной системы АРГЭК и краткое описание методики ее проектирования.

### 1. Обобщенная функциональная схема интеллектуальной системы АРГЭК.

В общем случае в состав интеллектуальной системы АРГЭК, как показано на рис. 1, входят следующие:

- РГСГ – распределенная гибридная система генерации, состоящая в свою очередь из распределенных систем ветряных генераторов (ВГ), гидрогенераторов (ГГ) и солнечных батарей (СБ), где  $W_{ВГ}(t)$ ,  $W_{ГГ}(t)$ ,  $W_{СБ}(t)$  – вырабатываемые ими мощности соответственно;  $\Delta W_{РГСГ}(t)$  – потери электроэнергии в сети;

- ПЭ – множество потребителей электрической энергии  $ПЭ = \{ПЭ_i | i \in N_{ПЭ}\}$ , где  $N_{ПЭ} = \{1, 2, \dots, p\}$ ,  $p$  – количество потребителей;

- ЛС<sub>ПЭ</sub> – локальная сеть для транспортировки мощности  $W_{П}(t)$  до потребителей  $ПЭ_i | i \in N_{ПЭ}$  с потребляемыми мощностями, соответственно  $W_{ПЭ_i} | i \in N_{ПЭ}$ , с потерей электроэнергии в сети  $\Delta W_{ЛС}(t)$ ;



$$W_{BG}(t) = \sum_{j \in N_{BG}} W_j^{BG}(t) - \Delta W_j^{BG}(t), \quad (1)$$

$$N_{BG} = \{1, 2, \dots, n_{BG}\},$$

где  $W_j^{BG}(t)$  – мощность, вырабатываемая  $j$ -м ветряным генератором  $BG_j$  из множества  $BG = BG_j | j \in N_{BG}$ ;  $\Delta W_j^{BG}(t)$  – мощность, расходуемая на собственные нужды  $j$ -м агрегатом  $BG_j$ ;  $N_{BG}$  – множество номеров агрегатов;  $n_{BG}$  – число агрегатов в системе ВГ;  $t$  – текущее время.

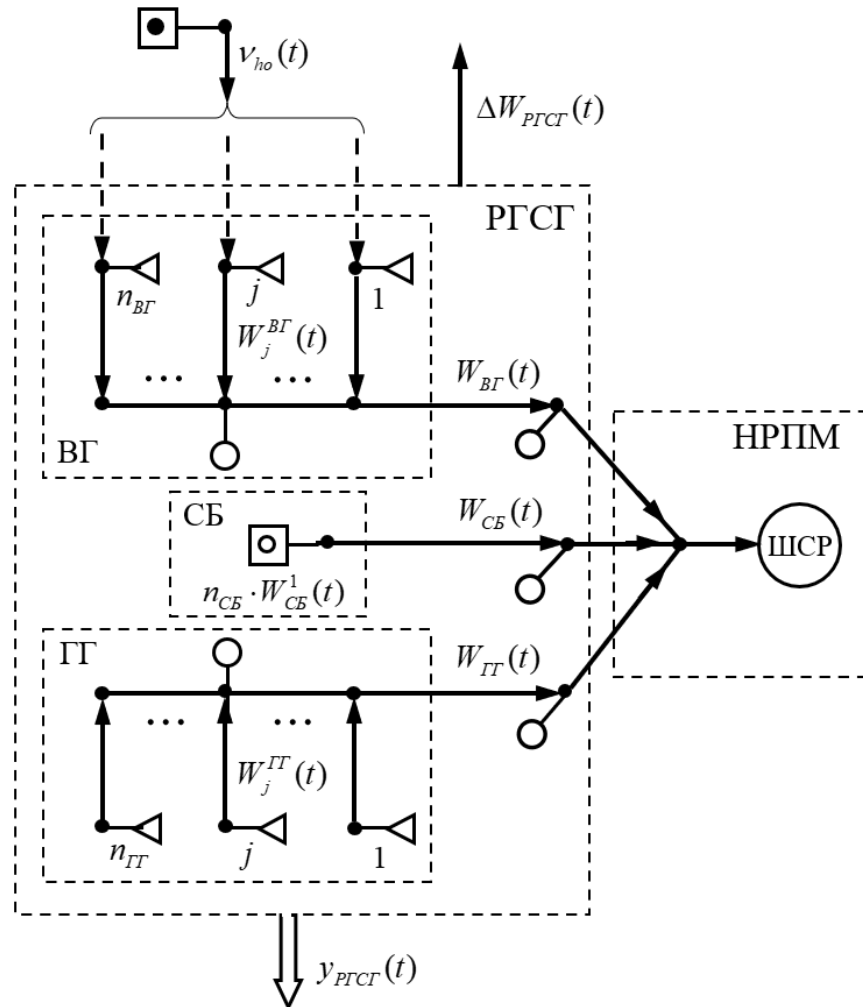


Рисунок 2 – Граф системы РГСГ, распознающей обрывы проводов на ее участках,

- где
- ветровой поток;
  - силовая линия электропередачи;
  - информационная векторная стрелка;
  - датчик скорости ветра;
  - датчик мощности одной панели солнечной батареи;
  - датчик мощности на выходе генерирующих агрегатов (или тока и напряжения);
  - датчик тока информационного провода многофункциональной линии электропередачи

Шаг 2. Разработка структуры системы гидрогенераторов (ГГ), выдаваемой в АРГЭК мощность  $W_{ГГ}(t)$  (см. рис. 2)

$$W_{ГГ}(t) = \sum_{j \in N_{ГГ}} W_j^{ГГ}(t) - \Delta W_j^{ГГ}(t), \quad (2)$$

$$N_{ГГ} = \{1, 2, \dots, n_{ГГ}\},$$

где  $W_j^{ГГ}(t)$  – мощность, вырабатываемая  $j$ -м гидрогенератором  $ГГ_j$  из множества  $ГГ = ГГ_j | j \in N_{ГГ}$ ;  $\Delta W_j^{ГГ}(t)$  – мощность, расходуемая на собственные нужды  $j$ -м агрегатом  $ГГ_j$ ;  $N_{ГГ}$  – множество номеров агрегатов;  $n_{ГГ}$  – число агрегатов в системе ГГ.

Шаг 3. Разработка структуры системы солнечных батарей (СБ), выдаваемой в АРГЭК мощность  $W_{СБ}(t)$

$$W_{СБ}(t) = n_{СБ} \cdot W_{СБ}^1(t), \quad (3)$$

где  $W_{СБ}^1(t)$  – мощность, вырабатываемая одной панелью солнечных батарей;  $n_{СБ}$  – количество панелей в системе СБ.

Шаг 4. Разработка структуры локальной сети (ЛС<sub>РГСГ</sub>) системы РГСГ для транспортировки мощностей (см. рис. 2)

$$\begin{aligned} W_{БГ}(t) \cup W_{ГГ}(t) \cup \{W_{СБ}(t)\} = \\ = \{W_j^{БГ}(t) | j \in N_{БГ}\} \cup \{W_j^{ГГ}(t) | j \in N_{ГГ}\} \cup \{W_{СБ}(t)\}, \end{aligned} \quad (4)$$

генерируемых агрегатами и системой солнечных батарей соответственно

$$\begin{aligned} БГ \cup ГГ \cup \{СБ\} = \\ = \{БГ_j | j \in N_{БГ}\} \cup \{ГГ_j | j \in N_{ГГ}\} \cup \{СБ\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Данная локальная сеть ЛС<sub>РГСГ</sub> имеет древовидную структуру, где корнем графа сети является шина сборки и распределения (ШСР) системы НРПМ, а концевыми узлами – узлы присоединения генерирующих агрегатов и системы солнечных батарей из (5).

*Примечание 1.* Все мощности переменного тока, вырабатываемые генерирующими агрегатами, преобразовываются и передаются в виде мощностей постоянного тока по сети ЛС<sub>РГСГ</sub>. Это делается для снятия проблемы синхронизации генерирующих агрегатов.

Шаг 5. Разработка структуры распределенной электрической системы, распознающей обрывы проводов на участках локальной сети ЛС<sub>РГСГ</sub> (см. рис. 2). Решение данной задачи основывается на методе, опубликованном в [7]:

- Граф сети ЛС<sub>РГСГ</sub> разбивается на  $n_{ПГ}$  подграфов (ПГ).
- В качестве линий электропередачи, соответствующих этим подграфам, используются многофункциональные провода с изолированной жилой, через которую передается информация (информационный провод).

- Разрабатывается схема постоянного тока для каждого  $j$ -го подграфа на основе информационного провода и набора сопротивлений  $\{R_i | i \in N_R\}$ ,  $N_R = \{1, 2, \dots, n_R\}$  с соответствующими величинами, которые необходимо рассчитать. Отметим, что структура разрабатываемой схемы совпадает со структурой подграфа сети.

- Со стороны корня рассматриваемого  $j$ -го подграфа информационный провод подсоединяется к источнику постоянного напряжения  $U_j^{III}$  и датчику тока (см. рис. 2), показание которого, т.е.  $I_j^{III}$ , несет информацию о состоянии участков (произошел обрыв или нет) данного  $j$ -го подграфа, где  $j \in N_{III} = \{1, 2, \dots, n_{III}\}$ .

*Примечание 2.* Измеряемыми величинами являются (см. рис. 2) мощности (или соответствующие токи и напряжения), вырабатываемые генерирующими агрегатами и системой солнечных батарей (см. формулы (1)-(5)), токи  $\{I_j^{III}(t) | j \in N_{III}\}$  информационных проводов подграфов графа сети ЛС<sub>РГСГ</sub> и скорость ветра  $v_{ho}(t)$  для заданной высоты (уровня)  $h_0$  (для метеостанций принято  $h_0 = 10$  м):

$$\{W_j^{BG}(t) | j \in N_{BG}\} \cup \{W_j^{IT}(t) | j \in N_{IT}\} \cup \{W_{CB}(t)\} \cup \{I_j^{III}(t) | j \in N_{III}\} \cup \{v_{ho}(t)\}. \quad (6)$$

Если считать, что множества из (6) упорядочены по номерам из множеств  $N_{BG}$ ,  $N_{IT}$ ,  $N_{III}$ , то множество (6) можно принять как вектор наблюдения  $y_{РГСГ}(t)$

$$y_{РГСГ}(t) = [\text{формула из (6)}]. \quad (7)$$

*Этап 2.* Разработка структурно управляемой локальной сети ЛС<sub>ПЭ</sub>, распознающей обрывы проводов на ее участках (см. рис. 3).

*Шаг 6.* Разработка структуры замкнутой сети ЛС<sub>ПЭ</sub> с заданным уровнем надежности  $H_{ЛСПЭ}$  электроснабжения потребителей  $ПЭ = \{ПЭ_i(t) | i \in N_{ПЭ}\}$ , мощности электропотребления которых соответственно  $\{W_{ПЭ_i}(t) | i \in N_{ПЭ}\}$ ,  $N_{ПЭ} = \{1, 2, \dots, p\}$ , где  $p$  – количество потребителей.

*Шаг 7.* На основе полученной замкнутой сети ЛС<sub>ПЭ</sub> построить сеть с управляемой структурой, позволяющей изменять маршруты движения потоков мощностей от источника энергии на узле  $i=0$  до потребителей  $ПЭ = \{ПЭ_i(t) | i \in N_{ПЭ}\}$  при существенном изменении нагрузок отдельных потребителей и обрыве линии отдельных участков с целью минимизации потери мощности  $\Delta W_{ЛС}(t)$  в сети ЛС<sub>ПЭ</sub> [8]. Для этого на каждой  $j$ -й ветви замкнутой сети ЛС<sub>ПЭ</sub> ставится управляемый ключ  $K_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, n_{ЛС}$ , где  $n_{ЛС}$  – количество ветвей,  $K_j \in \{0, 1\}$ .

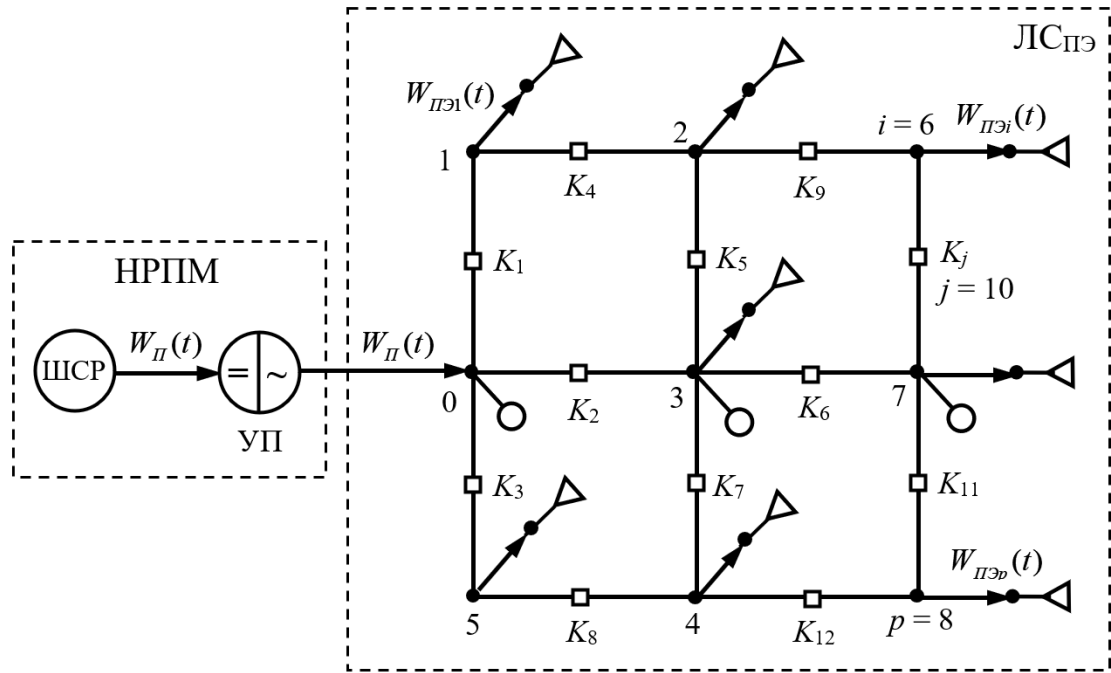



Рисунок 3 – Граф структурно управляемой локальной сети ЛСПЭ, распознающей обрывы проводов на ее участках

где  –преобразователь мощности постоянного тока в переменный;

**Шаг 8.** Разработка структуры распределенной электрической системы, распознающей обрывы проводов на участках замкнутой локальной сети ЛСПЭ. Решение данной задачи, как и на шаге 5, основывается на методике, опубликованной в [7]. Задача разработки, рассматриваемая на данном шаге, усложняется в сравнении с задачей из шага 5 тем, что рассматриваемая здесь сеть ЛСПЭ является сложноразветвленной трехфазной сетью.

**Примечание 3.** Измеряемыми величинами являются (см. рис. 3) мощности (или соответствующие токи и напряжения) на узлах нагрузки  $\{W_{ПЭi}(t) | i \in N_{ПЭ}\}$  и токи  $\{I_j^{III}(t) | j \in N_{ПГ}\}$ . Если считать, что эти множества упорядочены по номерам из множеств  $N_{ПЭ}$ ,  $N_{ПГ}$ , то в качестве векторов наблюдения  $y_{ПЭ}(t)$ ,  $y_{ЛС}(t)$  можно принять

$$y_{ПЭ}(t) = [\{W_{ПЭi}(t) | i \in N_{ПЭ}\}], \quad (8)$$

$$y_{ЛС}(t) = [\{I_j^{III}(t) | j \in N_{ПГ}\}]. \quad (9)$$

Вектором управления  $u_{ЛС}(t)$  является упорядоченное множество  $\{K_j | j \in N_K\}$  по номерам из множества  $N_K = \{1, 2, \dots, n_{ЛС}\}$ :

$$u_{ЛС}(t) = [\{K_j | j \in N_K\}], \quad K_j \in \{0, 1\}, \quad (10)$$

где при  $K_j = 0$ ,  $j$ -й управляемый ключ отключен, а при  $K_j = 1$  включен.

**Этап 3.** Разработка структуры управляемой системы НРПМ, т.е. структуры системы накопления и распределения потоков мощностей (см. рис. 4).

Шаг 9. Разработка структуры системы НРПМ, реализующей один из основных принципов, заложенных в логику функционирования интеллектуальной системы АРГЭК: минимальное потребление мощности от ГС и ДЭС за счет максимального полезного использования мощности, вырабатываемой системой РГСГ, путем аккумулирования излишков энергии в период ее избытка и отдачи потребителям в период дефицита. Один из возможных вариантов таких структур показан в виде графа на рис. 4.

Элементом графа соответствуют:

- сумматор  $\Sigma$  неуправляемых мощностей  $W_{BG}(t)$ ,  $W_{CB}(t)$ ,  $W_{IG}(t)$ , вырабатываемых генерирующими агрегатами соответственно ВГ, СБ, ГГ системы РГСГ, функционирующих на основе ВИЭ. Мощности  $W_{BG}(t)$ ,  $W_{CB}(t)$  (см. (1), (3)) имеют стохастический (непредсказуемый) характер ввиду стохастичности ВИЭ. Для снятия проблемы синхронизации мощностей переменного тока  $\{W_j^{BG}(t) | j \in N_{BG}\} \cup \{W_j^{IG}(t) | j \in N_{IG}\}$  (см. (1), (2)), вырабатываемых генерирующими агрегатами, соответственно,  $\{BG_j | j \in N_{BG}\} \cup \{IG_j | j \in N_{IG}\}$ , они преобразованы в мощности постоянного тока. Суммарная мощность  $W_G(t)$  (см. (1)-(3)):

$$W_G(t) = W_{BG}(t) + W_{CB}(t) + W_{IG}(t) - \Delta W_{PGC}(t) = \sum_{j \in N_{BG}} W_j^{BG}(t) - \Delta W_j^{BG}(t) + n_{CB} \cdot W_{CB}^1(t) + \sum_{j \in N_{IG}} W_j^{IG}(t) - \Delta W_j^{IG}(t) - \Delta W_{PGC}(t) \quad (11)$$

- глобальная сеть ГС, используемая как управляемый источник мощности  $W_{GC}^{(+)}(t)$  при ее чрезмерном дефиците, а при необходимости как управляемый потребитель мощности  $W_{GC}^{(-)}(t)$  при ее чрезмерном избытке в системе НРПМ.

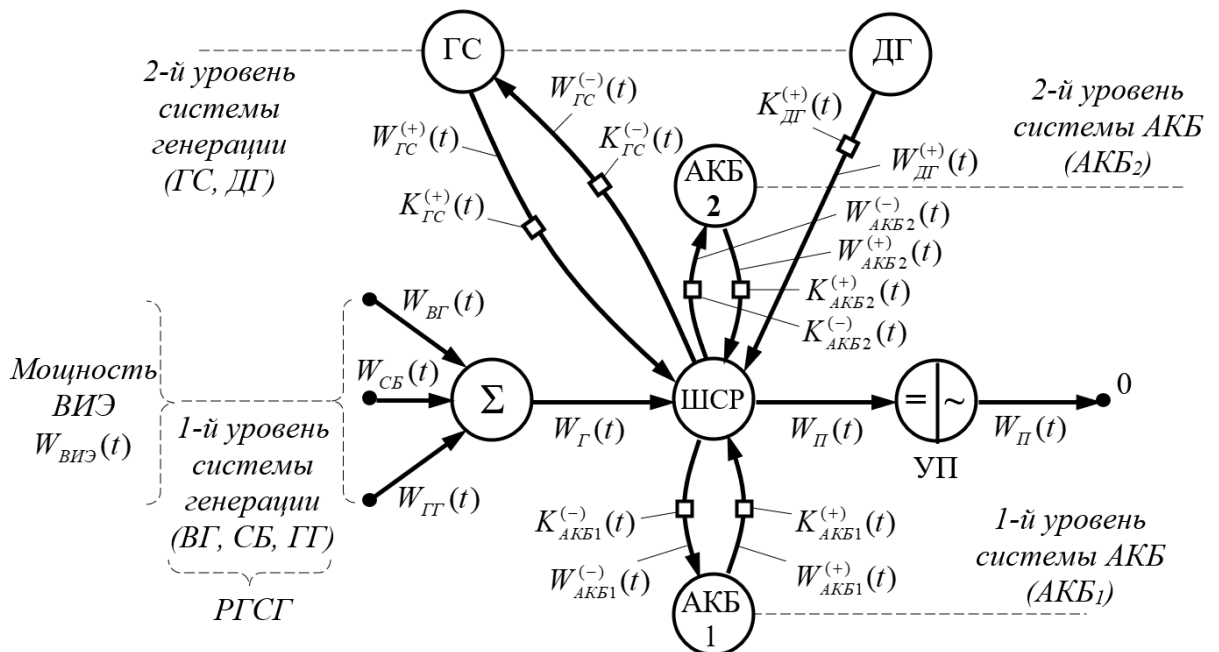


Рисунок 4 – Граф структуры управляемой системы НРПМ



- для повышения надежности электроснабжения при дефиците мощности ВИЭ и в ГС используется дополнительный управляемый источник мощности  $W_{ДГ}^{(+)}(t)$  в виде дизельного генератора ДГ.

- УП – устройство преобразования мощности постоянного тока  $W_{П}(t)$  в мощность переменного тока, которую локальная сеть ЛС<sub>ПЭ</sub> транспортирует и распределяет по потребителям  $ПЭ = \{ПЭ_i | i \in N_{ПЭ}\}$ ;

$$W_{П}(t) = \sum_{i \in N_{ПЭ}} W_{ПЭ_i}(t) + \Delta W_{ЛС}(t) \quad (12)$$

- АКБ<sub>1</sub> – система аккумуляторных батарей первого уровня аккумуляции энергии, предназначенная для обеспечения баланса мощностей, циркулируемых в НРПМ при нормальных режимах функционирования систем РГСГ, ЛС<sub>ПЭ</sub>, ПЭ и изменении потенциальных мощностей ВИЭ и мощности потребления  $W_{П}(t)$  в пределах их доверительных интервалов, оцененных на основе статистических данных на этапе синтеза оптимальной структуры системы РГСГ [6]. Здесь:  $W_{АКБ1}^{(-)}(t)$ ,  $W_{АКБ1}^{(+)}(t)$  – соответственно, зарядная, разрядная мощности.

- АКБ<sub>2</sub> – система аккумуляторных батарей второго уровня аккумуляции энергии, предназначенная для поддержания, совместно с АКБ<sub>1</sub>, ГС и ДГ, баланса мощностей в НРПМ при аварийных режимах функционирования систем РГСГ, ЛС<sub>ПЭ</sub>, ПЭ и выходе потенциальных мощностей ВИЭ и мощности потребления  $W_{П}(t)$  за пределы их доверительных интервалов. Здесь:  $W_{АКБ2}^{(-)}(t)$ ,  $W_{АКБ2}^{(+)}(t)$  – соответственно, зарядная, разрядная мощности.

- ШСР – шина сборки и распределения мощностей, циркулируемых в НРПМ:

$$\{W_{П}(t), W_{Г}(t), (W_{ГС}^{(+)}(t), W_{ГС}^{(-)}(t)), W_{ДГ}^{(+)}(t), (W_{АКБ1}^{(+)}(t), W_{АКБ1}^{(-)}(t)), (W_{АКБ2}^{(+)}(t), W_{АКБ2}^{(-)}(t))\} \quad (13)$$

- Управляемые ключи на дугах графа

$$\{(K_{ГС}^{(+)}(t), K_{ГС}^{(-)}(t)), K_{ДГ}^{(+)}(t), (K_{АКБ1}^{(+)}(t), K_{АКБ1}^{(-)}(t)), (K_{АКБ2}^{(+)}(t), K_{АКБ2}^{(-)}(t))\} \quad (14)$$

являются условными, т.е. использование их в реальных схемах реализации процесса управления потоками мощностей из (13) не является обязательным, так как процессоры включения/отключения преобразователей могут быть легко обеспечены за счет управления транзисторами их силовой части [2]. Они используются здесь для большей наглядности и удобства описания логики алгоритма управления и процесса циркуляции потоков (13) в системе НРПМ. Каждый управляемый ключ из (14) может принимать одно из двух состояний  $\{0, 1\}$ , при этом если 0, то соответствующая ветвь отключена, в противном случае, т.е. при 1 – включена.

*Примечание 4.* Измеряемыми величинами являются генерируемая  $W_{Г}(t)$ , потребляемая  $W_{П}(t)$  мощности (см. (13)), состояние  $C_{АКБ1}$ ,  $C_{АКБ2}$  соответственно АКБ<sub>1</sub>,

АКБ<sub>2</sub> и напряжение  $U_{ШСР}(t)$  на шине ШСР, из которых формируется вектор наблюдения  $y_{НРПМ}(t)$  за состоянием системы НРПМ:

$$y_{НРПМ}(t) = [W_{Г}(t), W_{ДГ}(t), C_{АКБ1}(t), C_{АКБ2}(t), U_{ШСР}(t)] \quad (15)$$

Вектор управления  $u_{НРПМ}(t)$  процессом циркуляции потоков мощностей в управляемой системе НРПМ состоит из следующих компонентов (см. (13)):

$$u_{НРПМ}(t) = \left[ (W_{ГС}^{(+)}(t), W_{ГС}^{(-)}(t)), W_{ДГ}^{(+)}(t), (W_{АКБ1}^{(+)}(t), W_{АКБ1}^{(-)}(t)), (W_{АКБ2}^{(+)}(t), W_{АКБ2}^{(-)}(t)) \right] \quad (16)$$

*Этап 4.* Разработка СДУ, т.е. системы диагностики и управления, реализующей главную функцию интеллектуальной системы АРГЭК: минимизация потребляемой энергии от ГС и ДГ за счет максимально эффективного использования энергии, генерируемой на основе ВИЭ в самой системе АРГЭК путем эффективного управления потоками мощностей, циркулируемых в системе АРГЭК, начиная от их генерации до потребления, с целью минимизации их потерь.

*Шаг 10.* Разработка алгоритмов диагностики, позволяющих на основе информации, заложенной в векторах наблюдения  $y_{РГС}(t)$ ,  $y_{ЛС}(t)$  (см. (6)-(9)), распознавать отказы генерирующих агрегатов и солнечных батарей  $\{BG_j | j \in N_{BG}\}$ ,  $\{ГГ_j | j \in N_{ГГ}\}$ ,  $\{СБ\}$  и обрывы проводов на участках локальных сетей  $ЛС_{РГС}$ ,  $ЛС_{ПЭ}$ .

*Шаг 11.* Разработка алгоритмов управления, позволяющих:

- по результатам диагностики и на основе текущей информации о нагрузках, заложенной в векторе наблюдения  $y_{ПЭ}(t)$  (8), управлять маршрутом движения потоков мощностей от источника энергии на узле  $i=0$  (см. рис. 3) до потребителей  $ПЭ = \{ПЭ_i(t) | i \in N_{ПЭ}\}$  с целью минимизации потерь мощности  $\Delta W_{ЛС}(t)$  в локальной сети  $ЛС_{ПЭ}$ ;

- по результатам диагностики и текущей информации, заложенной в векторе наблюдения  $y_{НРПМ}(t)$  (15), управлять потоками мощностей (16), циркулируемых в системе НРПМ, с целью минимизации потребляемой мощности от ГС и ДГ за счет максимального полезного использования мощности, вырабатываемой системой РГСГ, путем аккумулирования излишков энергии в период ее избытка и отдачи потребителям в период дефицита.

*Замечание.* Формальная постановка задачи и процедура синтеза вышеперечисленных алгоритмов вынесены за рамки настоящей работы.

**Заключение.** Таким образом, в данной работе была предложена методика проектирования интеллектуальных систем автономных распределенных гибридных энергокомплексов (АРГЭК), обеспечивающих минимум потребляемой энергии от глобальной (общегосударственной) сети и дизельных электростанций для электроснабжения региональных бытовых и/или промышленных потребителей за счет максимального полезного использования энергии, генерируемых на основе

возобновляемых источников энергии в самих системах АРГЭК, как в нормальных, так и в аварийных режимах их функционирования, т.е. за счет:

- аккумуляирования излишков энергии в период ее избытка и отдачи потребителям в период дефицита;

- минимизации потерь электрической энергии путем эффективного управления потоками мощностей, циркулируемых в системах АРГЭК.

Методика включает следующие этапы (подзадачи):

- разработка структуры распределенной гибридной системы генерации и транспортировки электроэнергии от источников до потребителей;

- разработка системы диагностики отказов генерирующих агрегатов и обрывов проводов на участках локальных сетей транспортировки электроэнергии и управления по результатам диагностики потоками мощностей, циркулируемых в системах АРГЭК, как в нормальных, так и в аварийных режимах, с целью обеспечения баланса мощностей и минимизации их потерь.

В дальнейшем, на основе полученных результатов и их углубленной детализации, а также результатов из [5-9], планируется создание универсальной системы автоматизированного проектирования интеллектуальных АРГЭК (САПР АРГЭК) для электроснабжения региональных бытовых и/или промышленных потребителей. При разработке САПР АРГЭК будет использован математический аппарат вычислительных сетей Петри [11,12], который является дальнейшим развитием классической теории сетей Петри [13,14].

#### **Литература:**

1. Лукутин Б.В. Способы снижения расхода топлива дизельных электростанций / Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б. // [Современные проблемы науки и образования](#). – 2013. – №2. – С. 139.
2. Обухов С.Г. Двухконтурный накопитель энергии для гибридных энергетических систем с возобновляемыми источниками энергии / Обухов С.Г., Плотников И.А., Ибрагим А., Маслов В.Г. // Известия Томского университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 1. – С. 64–76.
3. Лукутин Б.В. Способы снижения расхода топлива дизельных электростанций / Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б. // [Электричество](#). – 2012. – №6. – С. 24–29.
4. Бакасова А.Б. [Расширенные варианты использования гидроветряной электроустановки и автоматическая стабилизация режимов ее работы](#) / Бакасова А.Б., Асанов М.С., Сатаркулов К. // [Проблемы автоматизации и управления](#). – 2021. – № 3 (42). – С. 4–14.
5. Asanov M.S. Algorithm for calculation and selection of micro hydropower plant taking into account hydrological parameters of small watercourses mountain rivers of Central Asia / Asanov M.S., Safaraliev M., Zhabudaev T., Kokin S.E., Asanova S.M., Dmitriev S.A., [Obozov A.J.](#), [Ghulomzoda A.H.](#) // [International Journal of Hydrogen Energy](#). – 2021. – [Volume 46, Issue 75](#). – P. 37109–37119.
6. Asanova S.M. Optimization of the structure of autonomous distributed hybrid power complexes and energy balance management in them / Asanova S.M., Kokin S.E., Dmitriev S.A., Safaraliev M., Arfan Kh., Zhabudaev T., Satarkulov T.K. // [International Journal of Hydrogen Energy](#). – 2021. – [Volume 46, Issue 70](#). – P. 34542-34549.
7. Asanova S.M. Method for designing drop-of-wire recognition systems on sections of undistorted two-wire power transmission lines / Asanova S.M., Askarbek N., Suerkulov S.M., Ahyoev J.S., Asanova D.U., Safaraliev M.K. // IOP Conference

- Series: Materials Science and Engineering. 2020 –15. Сер. "15th International Conference on Industrial Manufacturing and Metallurgy". – P. 012114.
8. Asanov M. The use of Petri computing networks for optimization of the structure of distribution networks to minimize power losses. / Asanov M., Asanova S.M., Kokin S., Satarkulov K., Dmitriev S., Safaraliev M. // [Energy Reports](#). – 2020. – Т. 6. – [№ Suppl. 9](#). – P. 1337–1343.
  9. Asanova S.M. [Mathematical modelling of mutual electromagnetic influences of related power transmission lines in a transition process MODE](#). / Asanova S.M., Suerkulov S.M., Safaraliev M.K., Asanova D.U., Milutin R.S. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. –2020. – 15. Сер. "15th International Conference on Industrial Manufacturing and Metallurgy". – P. 012113.
  10. Asanov M. Optimal amount of information determination for power system steady state estimation. / Asanov M., [Semenenko S.](#), [Matrenin P.](#), Asanova S.M., Safaraliev M., [Rusina A.](#) // [Energy Reports](#). – 2022. – Т. 8. – [№ Suppl. 1](#). – P. 1085–1092.
  11. М.С. Асанов. Структурная модель вычислительных сетей Петри / М.С. Асанов, С.М. Асанова, К.А. Сатаркулов. // Известия КГТУ. – 2008. – №13. – С. 78–85.
  12. М.С. Асанов, С.М. Асанова, К.А. Сатаркулов. Вычислительные компоненты, язык описания и правила функционирования вычислительных сетей Петри / М.С. Асанов, С.М. Асанова, К.А. Сатаркулов. // Известия КГТУ. – 2008. – №13. – С. 85–95.
  13. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 160 с.
  14. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем// Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.