ФГБОУ ВО «ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБУН «ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ГЕОТЕРМИИ» ДНЦ РАН

Автоматизированный расчет местных энергоресурсов и оптимизация режимов эксплуатации установок комплексной энергосистемы на их основе

д.т.н. Бабаев Баба Джабраилович

Махачкала - 2018

Актуальность работы

Одной из ключевых проблем, от решения которой зависит эффективность и надежность энергоснабжения потребителей (особенно автономных) на основе ВИЭ, является проблема разработки и создания оптимального комбинированного энергокомплекса (ЭК) с включением накопителей энергии и оптимизация режима его эксплуатации.

В первую очередь, это относится к солнечным и ветровым энергоустановкам, характеризующимся сильной зависимостью вырабатываемой мощности от погодных условий, а также от суточной и сезонной неравномерности поступления энергии от первичных источников.

Разработка программно-вычислительного комплекса (ПВК) выбора и оптимизации работы ЭК намного облегчит трудозатраты при проектировании систем энергоснабжения автономного потребителя.

Цель работы

Цель – развитие и математическое описание методов оптимизации энергетических систем автономного энергоснабжение с использованием местных возобновляемых источников энергии

Практическая ценность работы

Разработка методики, алгоритма и ПВК оптимизации комбинированных схем энергоснабжения автономных потребителей на основе местных возобновляемых энергоисточников имеет большое значение при проектировании, строительстве и эксплуатации локальных сетей.

Этапы оптимизации комбинированной энергосистемы

1 ЭТАП

- определение электрической и тепловой нагрузок потребителя;
- расчет ресурсов местных ВИЭ;
- расчет возможной выработки энергоустановок:

$$P_i = 9{,}81 \cdot Q_i \cdot \rho \cdot H \cdot \eta_{\text{МГЭС}} \cdot 10^{-3}$$

$$N_i = R_\beta^i \cdot S_{\text{СЭС}} \cdot \eta_{\text{СЭС}} \cdot 10^{-3}$$

$$T_i = \frac{{v_{\text{пр}\,i}}^3 \cdot \rho_{\text{воз}} \cdot D^2 \cdot \pi}{8} \cdot \eta_{\text{ВЭУ}} \cdot n$$

$$X_i = \frac{V_{M\,i} \cdot G \cdot \eta_{\text{БГУ}}}{3{,}6}$$

$$L_i = R_\beta^i \cdot S_{\text{ССТ}} \cdot \eta_{\text{ССТ}} \cdot 10^{-3}$$

$$E_i = (P_2^i + N_2^i + X_2^i + T_2^i) \cdot \eta_{\text{ЭК}} = Y_i \cdot \eta_{\text{ЭК}}$$

2 ЭТАП

- расчет для каждой установки коэффициента оптимальности C_j:

$$C_j = 0{,}5 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{K}\right) \cdot (k_1 \cdot k_2 + k_2 \cdot k_3 + \cdots + k_{K-1} \cdot k_K + k_K \cdot k_1)$$

- расположение установок в хронологическом порядке по возрастанию значения C_j.

3 ЭТАП

- последовательный выбор из построенной иерархии, начиная с первой, такое число энергоустановок, которое будет обеспечивать требуемые электрическую и тепловую нагрузки потребителя в каждый момент времени.
- определение оптимальных режимов работы выбранных установок

Расчет потребного количества тепловой энергии и затрат для энергоснабжения автономного потребителя

$$Q = q_1 \cdot S_h + q_2 \cdot S_0 + q_3 \cdot N + q_4 \cdot N, \qquad (1)$$

$$Q_1 = q_1 \cdot S_h; \quad Q_2 = q_2 \cdot S_0; \quad Q_3 = q_3 \cdot N; \quad Q_4 = q_4 \cdot N$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^{n} m_{ij} c_j, \qquad (2)$$

$$q_1 = \frac{qll(t_в - t_{ср.о})T}{(t_в - t_{но})10^6}, \quad \text{гкал/м}^2, \qquad (3)$$

$$q_2 = 1{,}04 \cdot q_1, \qquad (4)$$

$$q_3 = [aa \cdot (55 - t_{xz})\, n_0 + aa \cdot 0{,}8\,(55 - t_{x1})\,(350 - n_0)] \cdot 10^{-6}, \qquad (4)$$

$$T_п = \frac{320000}{7000}\left(\frac{\tau_0}{\eta_0 365} + \frac{\tau_н}{\eta_н 365}\right), \text{ кг. у. т.,} \qquad (5)$$

$$q_4 = 0{,}32 \text{ гкал/чел.,} \qquad (6)$$

$$EE = 5{,}00 \text{ кВт·ч/сутки.}$$

$$E_г = 365 \cdot EE \cdot nd, \text{ кВт·ч/год,}$$

$$E_г = 3600 \cdot 365 \cdot EE \cdot nd \cdot 10^{-6} = 1{,}314 \cdot EE \cdot nd, \text{ гДж/год,} \qquad (7)$$

$$Q = 4{,}18(q_1 \cdot S_h + q_2 \cdot S_0 + q_3 \cdot Nn + q_4 \cdot Nn) + 1{,}314 \cdot EE \cdot nd, \qquad (8)$$

$$\Sigma Qp(ij) \cdot a_{ij} = Q,$$

$$Qp(ij) = mj * Cj, \quad \text{гДж.}$$

$$\text{или } \Sigma Qp(ij) * aij - Q < 5, \qquad (9)$$

$$И = И_э + И_м + И_т + И_к + И_д + И_а, \qquad (10)$$

$$И_м = \sum_{i=1}^{y} \sum_{j=1}^{n} \left[\frac{\alpha ij}{C_j} Qi(\gamma_j + \beta_j l_j + \eta_j + \xi_j)\right], \qquad (11)$$

$$Э = З_2 - З_1 - Е_н К_н, \qquad (12)$$

Расчет мощности солнечной радиации на горизонтальную площадку

$$T_c = \frac{2}{15}\,[arccos(-(tg\varphi \cdot tg\delta))], \qquad (1)$$

$$R_h^i(t) = R_h^{max} \cdot \sin\left(\frac{\pi t'}{T_c}\right), \qquad (2)$$

$$R_h^{max} = R_{max}^{22.06} \cdot \cos\Theta, \quad (3)$$

$$\cos\Theta = sin\varphi \cdot sin\delta + cos\varphi \cdot cos\omega \cdot cos\delta, \quad (4)$$

$$\omega = 15 \cdot (t - t_{cc}) + (\psi - \psi_{зона}), \qquad (5)$$

$$R_{h\,сут} = \left(\sum_{i=1}^{24} R_h^i\right) \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

Расчет мощности солнечной радиации на наклонную площадку с учетом диффузной и отраженной составляющих и коэффициента облачности

$$K_{\Sigma} = \left[\left(1 - K_{д}\right) \cdot K_{пр}\right] + \left[K_{д} \cdot \frac{1 + cos\beta}{2}\right] + \left[\rho \cdot \frac{1 - cos\beta}{2}\right], \qquad (7)$$

$$K_{пр} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot cos\delta \cdot sin\omega'_s + \pi/180 \cdot \omega'_s \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot sin\delta}{cos\varphi \cdot cos\delta \cdot sin\omega'_s + \pi/180 \cdot \omega'_s \cdot sin\varphi \cdot sin\delta} \qquad (8)$$

$$K_{д} = 1{,}39 - 4{,}03 \cdot K_0 + 5{,}53 \cdot {K_0}^2 - 3{,}11 \cdot {K_0}^3, \qquad (9)$$

где K_0 – коэффициент прозрачности атмосферы, рассчитываемый по формуле:

$$K_0 = \frac{R_{h\,сут}}{R_{hA}}, \qquad (10)$$

где R_{hA} – поток суточной СР на горизонтальную площадку за пределами атмосферы.

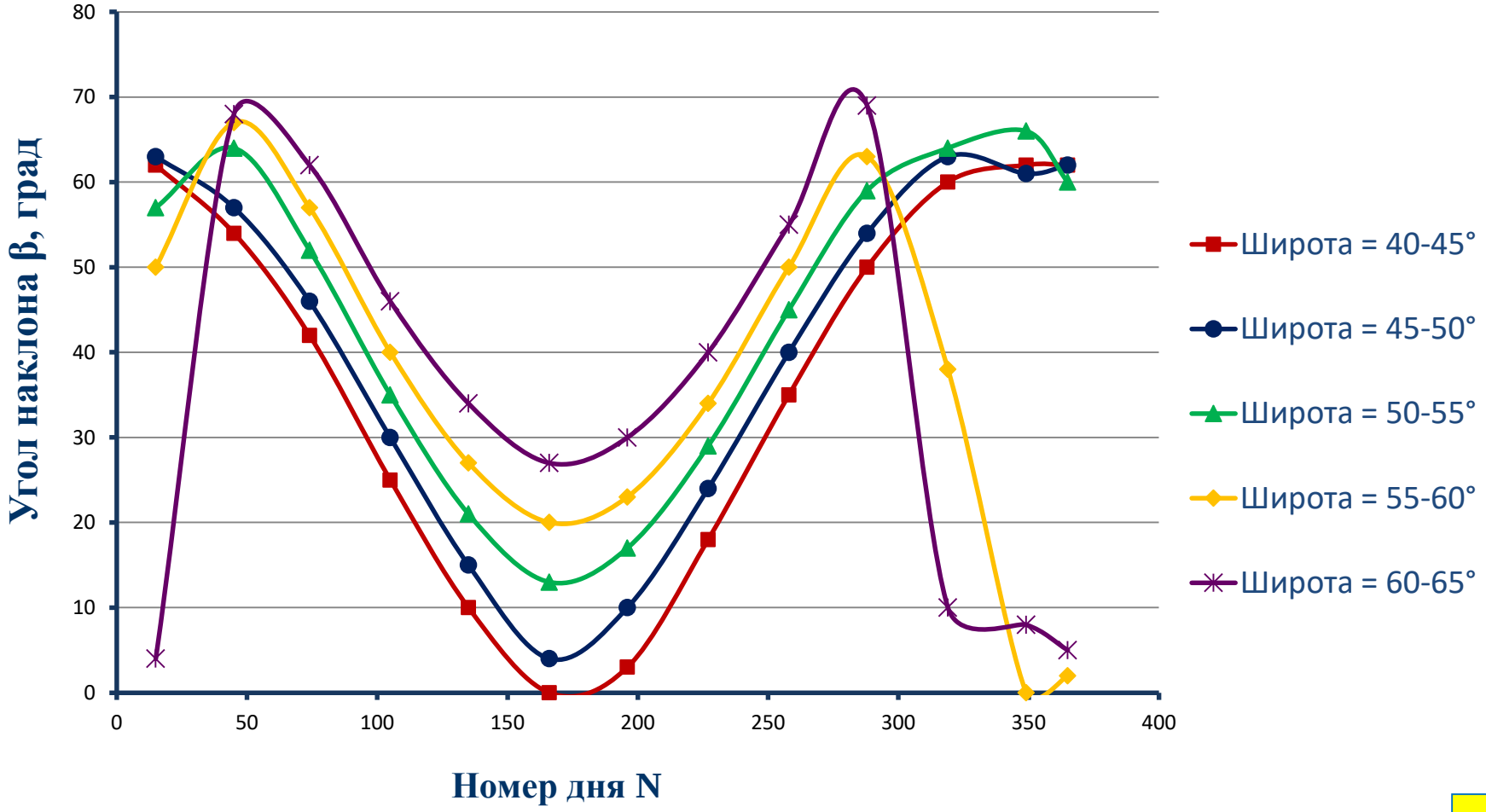
Согласно формулы Ангстрема $K_0 = а + в\left(\frac{T_c}{T_{c.фактич}}\right)$,

где а и б –эмпирические коэффициенты, характеризуют долю СР задержанной облаками

$$K_{прох} = \frac{(10 - К_{об})}{10}, \qquad (11) \qquad R^i_{\beta}(t) = K_{\Sigma} \cdot R^i_h(t) \cdot K_{прох}, \qquad (12)$$

Зависимости оптимального угла наклона приемника солнечной радиации от номера дня для интервалов широт 40-45°, 45-50°, 50-55°, 55-60°, 60-65

$$\beta(t,n_i) = \arccos(\sin\varphi \sin\delta(n_i) + \cos\varphi \cos\delta(n_i) \cos\omega(t,n_i))$$



Выведенные уравнения расчета оптимального угла наклона приемника СР

φ = 40-45°	$\beta = 3,192 \cdot 10^{-12} \cdot N^6 - 3,401 \cdot 10^{-9} \cdot N^5 + 1,274 \cdot 10^{-6} \cdot N^4 - 1,921 \cdot 10^{-4} \cdot N^3 + 1,038 \cdot 10^{-2} \cdot N^2 - 0,4786 \cdot N + 67,41$
φ = 45-50°	$\beta = 2,963 \cdot 10^{-12} \cdot N^6 - 3,137 \cdot 10^{-9} \cdot N^5 + 1,153 \cdot 10^{-6} \cdot N^4 - 1,644 \cdot 10^{-4} \cdot N^3 + 7,083 \cdot 10^{-3} \cdot N^2 - 0,270 \cdot N + 65,86$
φ = 50-55°	$\beta = 1,555 \cdot 10^{-12} \cdot N^6 - 1,366 \cdot 10^{-9} \cdot N^5 + 2,934 \cdot 10^{-7} \cdot N^4 - 3,838 \cdot 10^{-5} \cdot N^3 - 1,703 \cdot 10^{-2} \cdot N^2 + 1,081 \cdot N + 44,64$
φ = 55-60°	$\beta = 6,218 \cdot 10^{-12} \cdot N^6 - 6,360 \cdot 10^{-9} \cdot N^5 + 2,264 \cdot 10^{-6} \cdot N^4 - 3,153 \cdot 10^{-4} \cdot N^3 + 1,097 \cdot 10^{-2} \cdot N^2 + 0,3925 \cdot N + 43,72$
φ = 60-65	β где N – порядковый номер дня с начала года (с 1 января) $= 4,293 \cdot 10^{-12} \cdot N^6 - 3,325 \cdot 10^{-9} \cdot N^5 + 4,921 \cdot 10^{-7} \cdot N^4 + 1,765 \cdot 10^{-4} \cdot N^3 - 5,743 \cdot 10^{-2} \cdot N^2 + 4,899 \cdot N - 59,68$

Приведение скоростей ветра к условиям открытой ровной местности и к требуемой высоте

$$K_{отк} = 0,2113 \cdot K + 0,155$$

где K – класс открытости рассматриваемой метеостанции по Милевскому

$$m_i = 0,5551 \cdot v_{фi}^{-0,7275},$$

выведена по графику из литературы

$$v_{пр\,i} = v_{фi} \cdot K_{отк} \cdot \left(\frac{h}{h_ф}\right)^m$$

Определение выхода газа и содержания метана в биогазе

$$V_{M\,i} = \left(\sum_k^n m_k \cdot c_k \cdot k_м\right)/24$$

Определение критериев оптимизации энергетических установок энергокомплекса (ЭК)

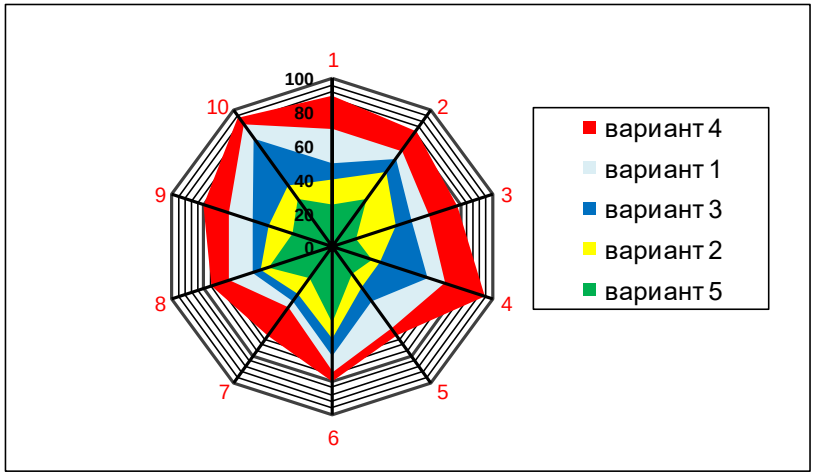
а) технико-экономические: 1) приведенные затраты, руб/кВт; 2) металлоемкость, кг/кВт; 3) долговечность (1/(срок службы оборудования)); 4) стоимость сооружения системы;
5) дисконтированная окупаемость; 6) 1/(эффект от раннего ввода объекта в эксплуатацию);

б) энергетические: 1) расход топлива и электроэнергии на собственные нужды;
2) удельное количество обслуживающего персонала, чел/кВт; 3) стабильность энергоснабжения; 4) значение, зависящее КИУМ – $\frac{1}{\text{КИУМ}}$;
5) «маневренность»

в) экологические: 1) критерий использования территорий, га/МВт; 2) критерий степени экологического загрязнения – содержание золы, оксидов серы, азота и бактерий в 1 мм^3 воздуха или в выбросах на выработку 1 ГДж энергии;

г) социальные: 1) удовлетворенность обслуживающего персонала работой – условия работы персонала (от «лучше» – 0 до «хуже» – 10);
2) престижность работы (от «прест» – 0, до «непрест» – 10).

«Паук-ЦИС» диаграмма



$$K(i)^{ЭС} = \sum_{i=1}^{p}[0,5\sin(2\pi/p)\cdot Q\cdot(\sum_{j=1}^{k} X_j Ce(j)\cdot X_1K_1 + X_1K_1\cdot X_2K_2 + X_2K_2\cdot X_3K_3 + .. \\ .. + X_{p-1}K_{p-1}\cdot X_pK_p + X_pK_p\cdot\sum_{j=1}^{k} X_j Ce(j))^{ЭС}] \quad (1)$$

где p – число вводимых критериев;
$Ce(j)$ – цена единицы продукции;
$X1, X2, X3, ...Xp$ – коэффициенты перед критериями;
$K1, K2, K3, ...Kp$ – значения критериев сравнения.

$$K(i)^{пр.ЭС} = \sum_{i=1}^{p}[0,5\sin(2\pi/p)\cdot Q\cdot(\sum_{j=1}^{k} X_j Ce(j)\cdot X_1K_1 + X_1K_1\cdot X_2K_2 + X_2K_2\cdot X_3K_3 + ... + X_{p-1}K_{p-1}\cdot X_pK_p + X_pK_p\cdot\sum_{j=1}^{k} X_j Ce(j))^{пр.ЭС}] \quad (2)$$

$$K(i)^{лев.ЭС} = \sum_{i=1}^{p}[0,5\sin(2\pi/p)\cdot Q\cdot(\sum_{j=1}^{k} X_j Ce(j)\cdot X_1K_1 + X_1K_1\cdot X_2K_2 + X_2K_2\cdot X_3K_3 + ... + X_{p-1}K_{p-1}\cdot X_pK_p + X_pK_p\cdot\sum_{j=1}^{k} X_j Ce(j)\cdot)^{лев.ЭС}] \quad (3)$$

$$\Delta K_{ЭС} = K(i)^{пр.ЭС} - K(i)^{лев.ЭС} \quad (4)$$

$$\Delta Z_{ЭС} = \sum_{j=1}^{k} X_j Z(j)^{пр.ЭС} - \sum_{j=1}^{k} X_j Z(j)^{лев.ЭС}; \quad (5)$$

где $K(i)^{пр.ЭС}$, $K(i)^{лев.ЭС}$ – суммы площадей «паук-ЦИС» диаграмм введенных критерий ресурсов и систем, входящих в правую и левую части сравнений, соответственно

Оценку энергоустановок, входящих в состав энергокомплекса производится по следующему правилу:

оптимальной энергоустановке для рассматриваемой местности соответствует та, диаграмма которой очерчивает наименьшую площадь

Входные данные, например, когда в сравнениях участвуют 16 энергетических систем на основе 4 видов ресурсов – солнечной, ветровой, геотермальной, водной (С,Вет,Гео,Вод) и 4 видов потребляемой энергии – электрической, тепловой, хладоснабжения, горячего водоснабжения (Эл,Теп,Хлд,Горв), что в итоге выглядит следующим образом:

16,4,4;
С,Вет,Гео,Вод;
Эл,Теп,Хлд,Горв;
СЭл,ВетЭл,ГеоЭл,ВодЭл,СТеп,ВетТеп,ГеоТеп,ВодТеп,СХлд,ВетХлд,Г
еоХлд,ВодХлд,СГорв,ВетГорв,ГеоГорв,ВодГорв;
-1,1,1,1,1,1,1,0,1,1,1,0,1,0,0,0;
0,-1,1,1,0,1,1,0,0,1,1,0,1,1,0,1;
0,0,-1,1,0,1,1,0,0,1,1,0,1,1,1,1;
0,0,0,-1,0,1,1,0,0,1,1,0,1,0,0,1;
0,0,0,0,-1,1,1,0,1,1,1,1,0,0,0,0;
0,0,0,0,0,-1,1,1,0,1,1,1,1,1,0,1;
0,0,0,0,0,0,-1,1,0,1,1,0,1,1,1,1;
0,0,0,0,0,0,0,-1,0,1,1,1,1,0,0,1;
0,0,0,0,0,0,0,0,-1,1,1,0,0,0,0,0;
0,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,1,1,1,0,0,0;
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,1,1,1,1,0;
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,1,0,0,0;
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,1,1,1;
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,1,1;
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,1;
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-1;
0,3:0,45:0,3:0,9:0,8:0,4:0,8:0,7:0,35:0,3:0,45:0,6:0,8:0,45:0,9:0,7;

$$K(СЭл)=\sum_{i=1}^{p}[0,5\sin(2\pi/p)\cdot Q\cdot(\sum_{j=1}^{k}X_jCe(j)\cdot X_1K_1+X_1K_1\cdot X_2K_2+X_2K_2\cdot X_3K_3+....+X_{p-1}K_{p-1}\cdot X_pK_p+X_pK_p\cdot\sum_{j=1}^{k}X_jCe(j))]$$

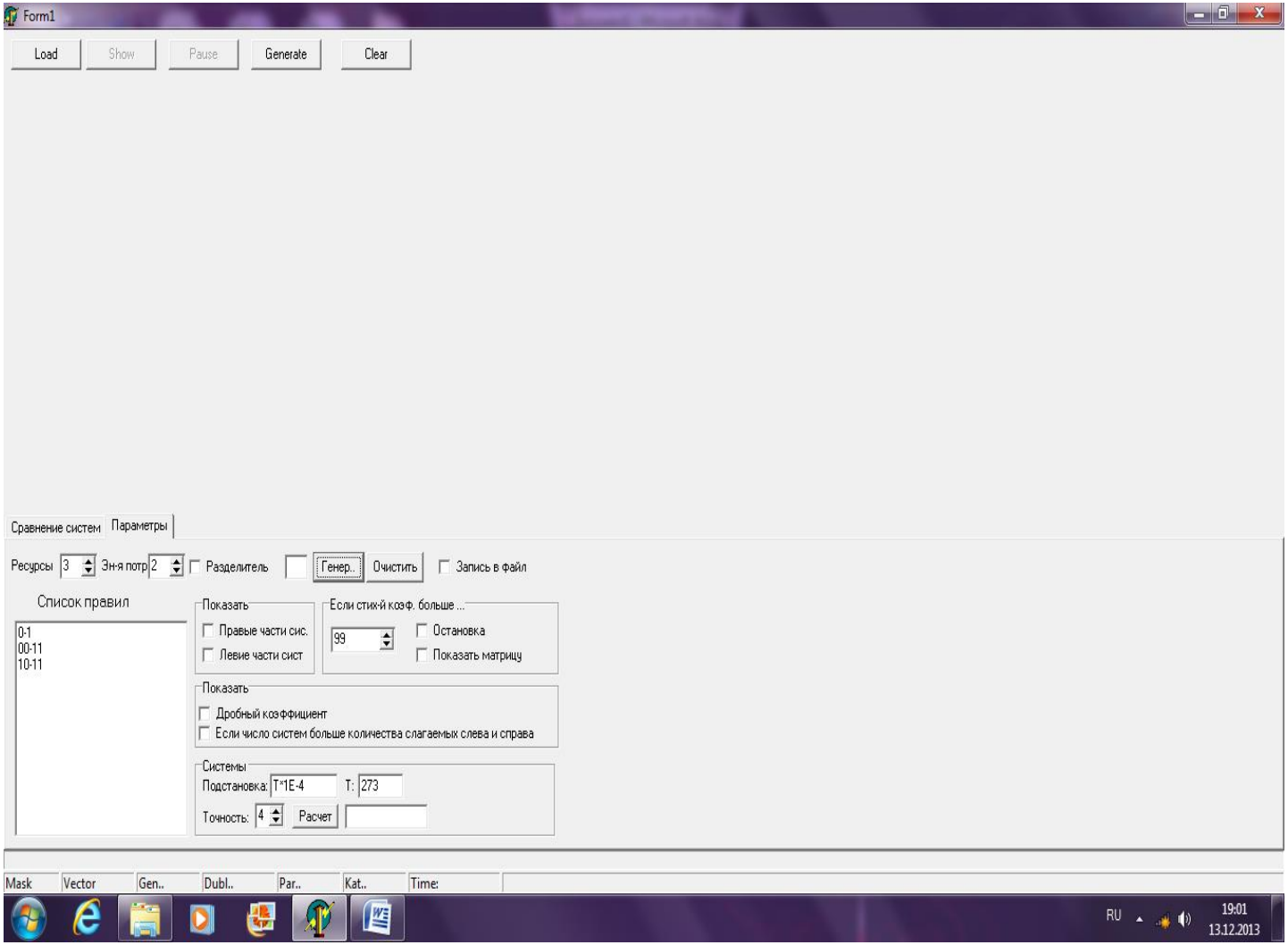
……

$$K(ВодГорв)=\sum_{i=1}^{p}[0,5\sin(2\pi/p)\cdot Q\cdot(\sum_{j=1}^{k}X_jCe(j)\cdot X_1K_1+X_1K_1\cdot X_2K_2+X_2K_2\cdot X_3K_3+....+X_{p-1}K_{p-1}\cdot X_pK_p+X_pK_p\cdot\sum_{j=1}^{k}X_jCe(j))]$$

На основе входной информации (см. матрицу 16/4/4) программой *«Optimization of energysystems» выявлены сравнительные характеристики энергетических систем:*

- с двумя ресурсами по два вида потребляемой энергии, т.е. в (2//2) – 28 левых, 36 правых частей и 28 сравнений;
- (3//2) – 44 левых, 103 правых частей и 44 сравнений;
- (2//3) – 27 левых, 75 правых частей и 28 сравнений;
- (4//2) – 15 левых, 15 правых частей и 15 сравнений;
- (2//4) – 8 левых, 8 правых частей и 8 сравнений;
- (3//3) – 240 левых, 97 правых частей и 527 сравнений;
- (4//3) – 73 левых, 14 правых частей 108 сравнений;
- (3//4) – 40 левых, 10 правых частей и 72 сравнений;
- (4//4) – 798 левых, 37 правых частей и 4093 сравнений.

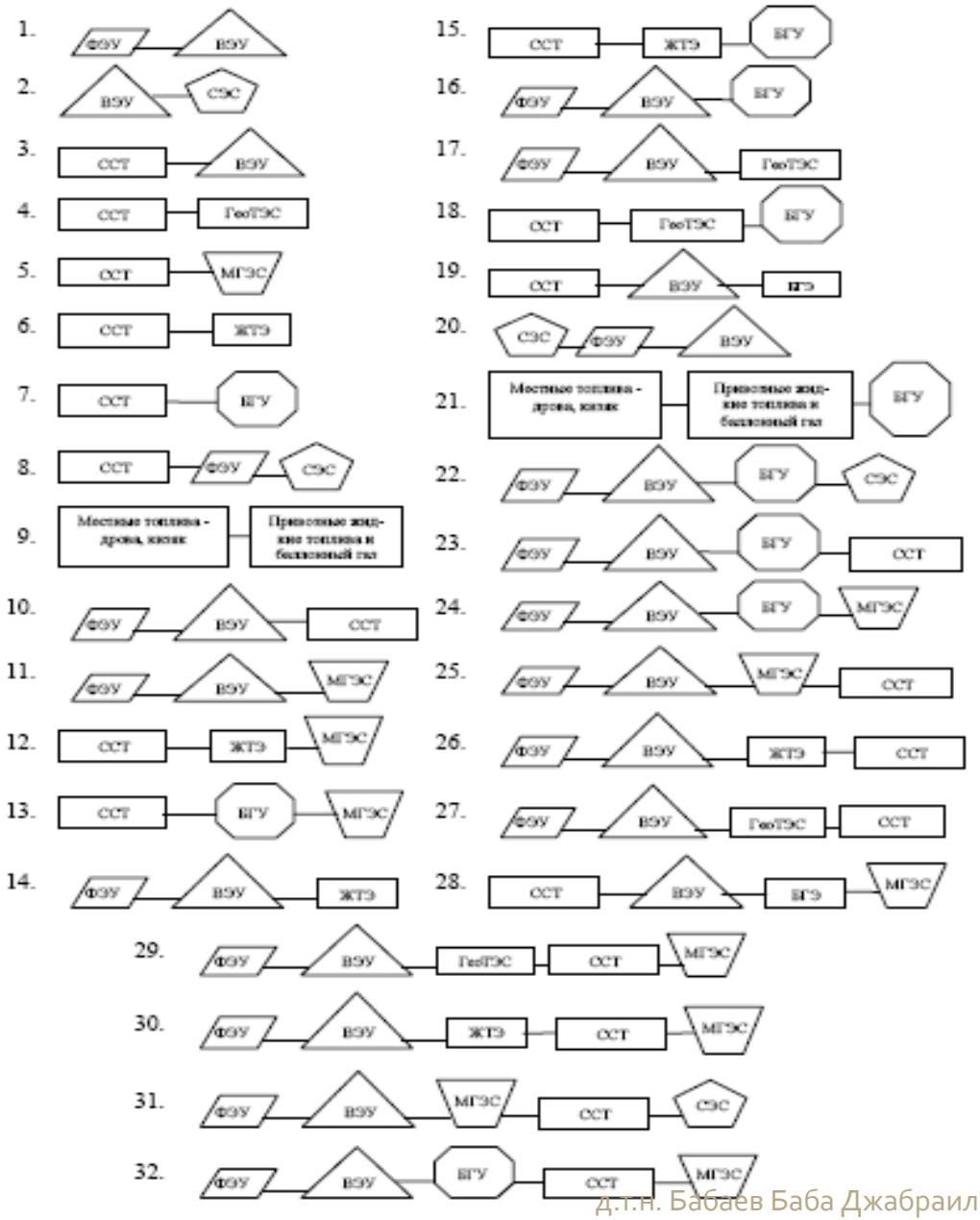
Экран программы при загрузке исходной информации для сравнительной оценки комбинированных систем



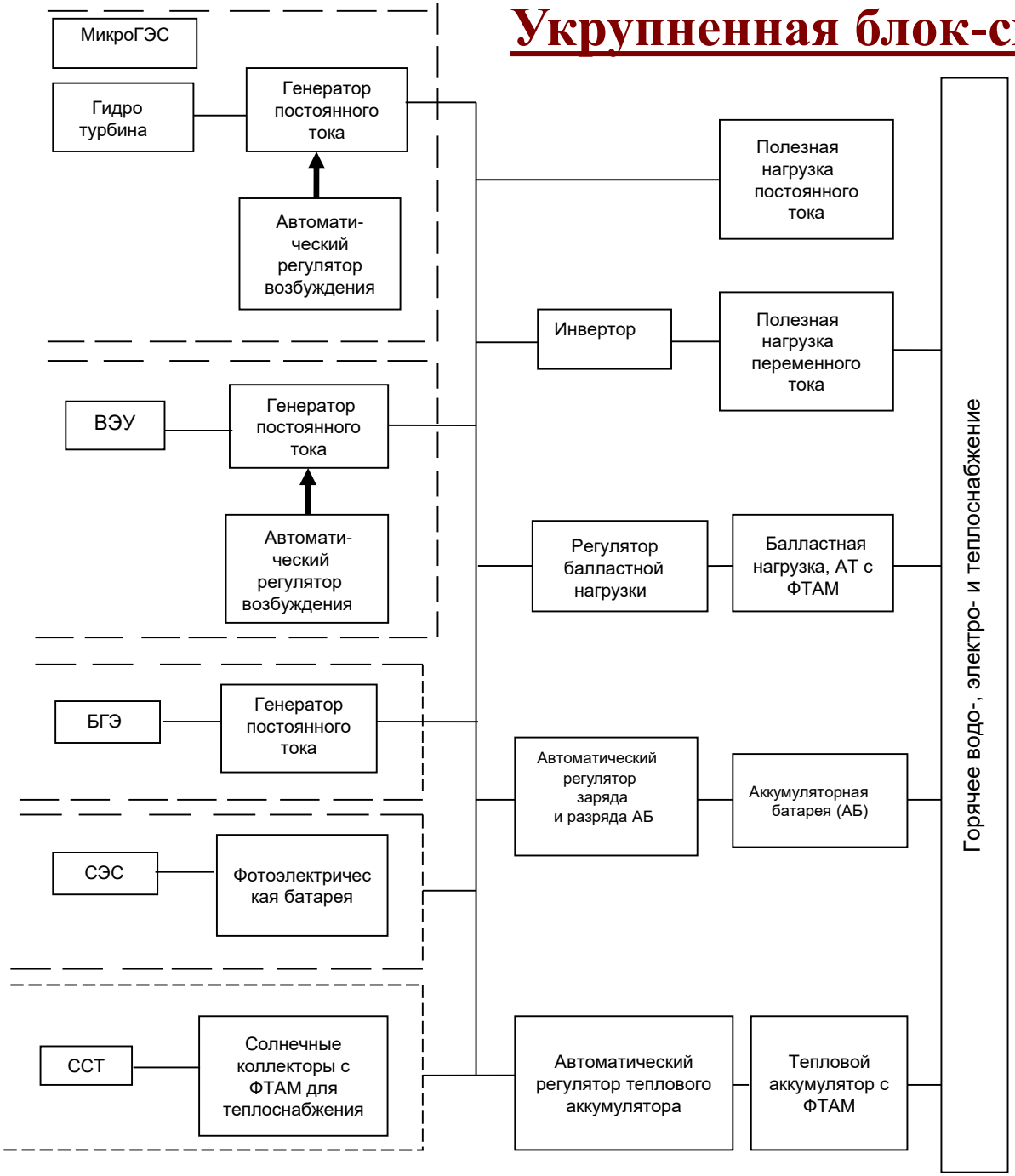
Перспективные комбинированные энергосистемы на основе ВИЭ и возможные количества вариантов ЭК в зависимости от используемых элементов

Энергетические системы и количество элементов в них	Варианты с указанием количества разных элементов систем								
	I	II	III	III	IV	V	VI	VII	VIII
1.Аккумуляторы (тепловые) (8)	2	2	2	3	3	3	1	2	4
электрические АБ (3)	1	1	1	1		1	1	1	
2.Солнечные системы теплоснабжения (2)	2	2		2			1	1	
3.Солнечные системы электроснабжениянія (3)				1					
4.Ветроэнергетическая установка (4)	4			3			2		
5.Микро ГЭС (4)		4				4		2	
6.Биогазовые установки (5)			4						
7.Геотермальные станции (2)									2
8.Местные биотоплива, дрова, кизяк, уголь (4)			3		4				
9.Жидкотопливные и газовые генераторы (3)	3								
10.Системы на основе низкотемпературных источников и тепловых сбросов (ТНУ) (4)							2	3	2
Количество вариантов:	792	126	210	252	21	56	21	126	56

Некоторые сформированные для сравнения варианты комбинированного энергоснабжения потребителя



Укрупненная блок-схема ЭК



Оптимизация режима генерации энергии энергоустановками ЭК

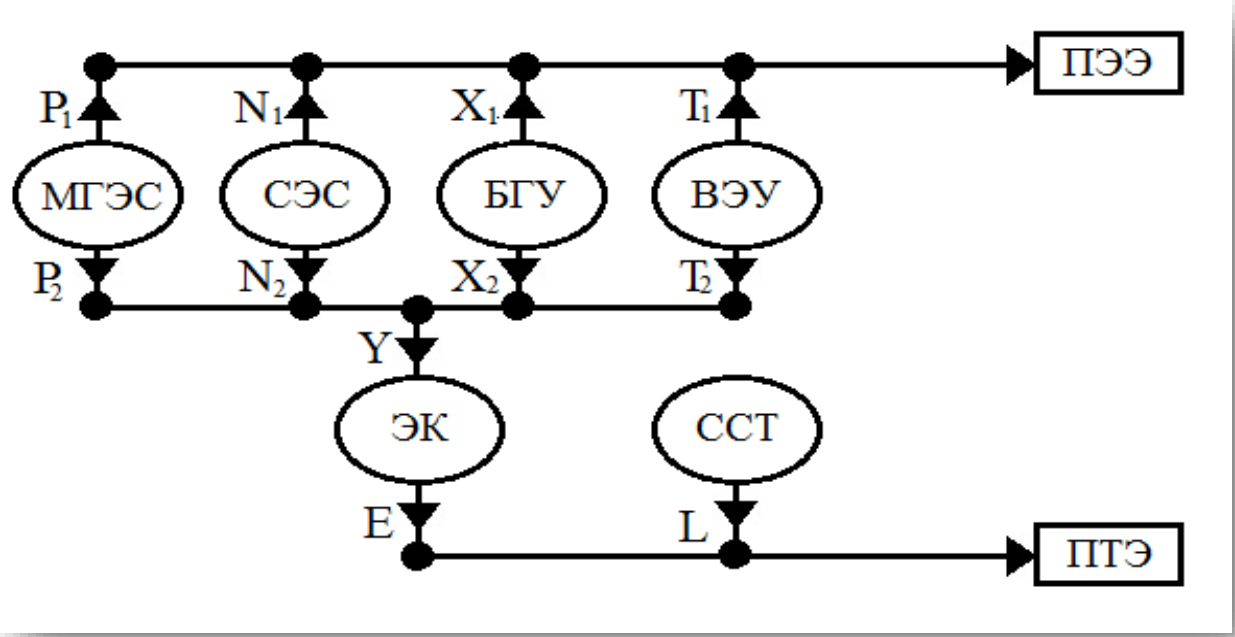


Схема автономного энергокомплеса

P_1, N_1, X_1, T_1, P_2, N_2, X_2, T_2 – потоки электрической энергии в каждый момент времени от МГЭС, СЭС, БГУ, ВЭУ, соответственно;

Y – поток электрической энергии в каждый момент времени, подаваемый на ЭК;

E, L – потоки тепловой энергии в каждый момент времени от ЭК и ССТ.

Математическая модель энергокомплекса (ЭК)

Электрический баланс ЭК в каждый момент времени:

$$\boldsymbol{P_1 + N_1 + X_1 + T_1 = Z}$$

Тепловой баланс энергокомплекса в каждый момент времени:

$$\boldsymbol{E + L = W}$$

Дополнительные соотношения:

$$\boldsymbol{Y = P_2 + N_2 + X_2 + T_2} \qquad \boldsymbol{E = k_{ek} \cdot (P_2 + N_2 + X_2 + T_2) = k_{ek} \cdot Y}$$

Получена система уравнений, которая представляет собой баланс электрической и тепловой энергии рассматриваемого энергокомплекса за промежуток времени Δt_i, в течение которого электрическая и тепловая нагрузки потребителя считаются постоянными, т. е., $Z(t) = const$ и $W(t) = const$.

Целевая функция:

$$f_0 = \sum_{i}^{\tau} \Delta t_i \left(C_1 \cdot P_1^i + C_2 \cdot N_1^i + C_3 \cdot X_1^i + C_4 \cdot T_1^i\right) + \sum_{i}^{\tau} \Delta t_i \left(C_5 \cdot E^i + C_6 \cdot L^i\right)$$

- где τ – количество интервалов времени с постоянной нагрузкой; C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6 – коэффициенты оптимальности, соответствующие площадям «паук–ЦИС» диаграмм МГЭС, СЭС, БГУ, ВЭУ, ССТ и ЭК, соответственно.
- Задача оптимизации состоит в определении режимов работы энергоустановок, входящих в состав энергокомплекса, в каждый момент времени Δt_i, при которых целевая функция примет минимальное значение.

Алгоритм решения задачи оптимизации

1.0. Ввод данных по потребителю (электрическая и тепловая нагрузки в каждый момент времени) – и ;
1.1. Ввод данных по рассматриваемой местности;
1.2. Ввод значений КПД энергоустановок;
1.3. Ввод критериев оптимизации.

↓

2.0. Вычисление ресурсов ВИЭ рассматриваемой местности;
2.1. Вычисление выработки энергоустановок в каждый момент времени с учетом их КПД и имеющихся ресурсов.

↓

3.0. Вычисление для каждой энергоустановки площади «Паук-ЦИС» диаграммы по формуле:

$$C_j = 0{,}5 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{K}\right) \cdot (k_1 \cdot k_2 + k_2 \cdot k_3 + \cdots + k_{K-1} \cdot k_K + k_K \cdot k_1)$$

↓

4.1. Сравнение площадей «Паук-ЦИС» диаграмм энергоустановок;
4.2. Расположение энергоустановок в хронологическом порядке от $C_{j\,min}$ до $C_{j\,max}$

↓

5.0. Выбор оптимальной комбинации энергоустановок и вычисление оптимальных долей их участия в обеспечении потребителя в каждый промежуток времени.

↓

6.0. Вывод оптимального состава энергокомплекса и оптимальных долей участия каждой энергоустановки в обеспечении потребителя в каждый промежуток времени.

Окно программы расчета поступления возобновляемых энергоресурсов и оптимизации режимов работы ЭУ комплексного энергоснабжения потребителя по динамике его нагрузки

Определение ресурса СР и выработки ФЭС и ССТ с указанными параметрами

Form2

Текущая дата	Широта местности	Долгота местности	Декретный полдень	Макс. СР в году	Облачность	Альбедо
16.03.2018	град.	град.	ч.	Вт/м2	0 < обл < 10 (ясно … сильно обл.)	посмотреть
	43	47	13	900	1	0,3

Площадь СЭС, м2: 200

КПД СЭС: 0,18

Площадь ССТ, м2: 50

КПД ССТ: 0,8

Время, ч

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
СР на гориз-ю пов-сть при ясном небе, Вт/м2	0	0	0	0	0	0	0	167,61	323,20	455,63	555,41	615,37	631,22	601,83	529,30	418,83	278,34	117,90	0,000	0,000	0,000	0	0	0
СР на наклонную поверхность, Вт/м2	0	0	0	0	0	0	0	201,91	389,35	548,88	669,07	741,31	760,40	725,00	637,63	504,55	335,31	142,03	0,000	0,000	0,000	0	0	0
Выработка СЭС, кВт*ч	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	14,0	19,8	24,1	26,7	27,4	26,1	23,0	18,2	12,1	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Выработка ССТ, кВт*ч	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	15,6	22,0	26,8	29,7	30,4	29,0	25,5	20,2	13,4	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Склонение Солнца, град: -2,4

Продолжительность солнечного дня, ч: 11,7

Оптимальный угол наклона, град: 42

Вычислить

Обнулить

Определение ресурса ветровой энергии и выработки ветропарка с указанными параметрами

Form3

Высота расположения флюгера на МС, м: 10

Высота расположения ветроколеса, м: 50

Класс открытости метеостанции по Милевскому: 6

Диаметр ветроколеса, м: 10

Количество ВЭУ: 1

КПД ВЭУ: 0,4

Классификация Милевского

Время, ч

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Данные о скорости ветра, м/с	2	4	2,5	3	4,1	3,4	3	3	2,6	3	2	1,5	1	1,5	1,8	2,1	3	3	3,1	2	4	4,1	3	3,5
Приведенная скорость ветра, м/с	4,88	7,88	5,63	6,38	8,03	6,98	6,38	6,38	5,78	6,38	4,88	4,15	3,48	4,15	4,58	5,03	6,38	6,38	6,53	4,88	7,88	8,03	6,38	7,13
Выработка ВЭУ кВт*ч	2,3	9,6	3,5	5,1	10,2	6,7	5,1	5,1	3,8	5,1	2,3	1,4	0,8	1,4	1,9	2,5	5,1	5,1	5,5	2,3	9,6	10,2	5,1	7,1

ВЫЧИСЛИТЬ

РУС 14:28 29.04.2018

Определение ресурса получения биомассы и выработки БГУ при КПД 0,6

Form4

ТИП СЫРЬЯ

Навоз животных

	кг сух. в-ва	кол-во голов
КРС	2,0	10
Свиньи	0	0
Птицы	0,7	20
Кони	0	0
Овцы	1	10

Отходы хозяйства

	кг сух. в-ва
Сточные воды	0
Овощные отходы	0
Картофельная ботва	0
Свекольная ботва	0

Растительные сухие отходы

	кг сух. в-ва		кг сух. в-ва
Пшеничная солома	0	Свекольный жом	0
Солома ржи	0	Конопля	0
Ячменная солома	0	Лен	0
Овсяная солома	0	Листья подсолнуха	0
Кукурузная солома	0	Клевер	0

Теп-я способность метана, МДж/м3: 50

КПД БГУ: 0,6

Рассчитать

Время, ч

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Выход метана, м3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Выработка БГУ, кВт*ч	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8

Окно программы оптимизации с указанием себестоимости и иерархии по площади «паук-ЦИС» диаграммы и режим работы каждой ЭУ по часам

Form6

Показатели

Энергоустановки

	МГЭС	СЭС	ВЭУ	БГУ	ССТ	ЭК
1. Затраты на эксплуатацию, руб/ГДж	80	50	100	200	100	170
2. Капиталовложения, руб/ГДж	302	812	609	475	1020	400
3. Амортизационные отчисления, руб/ГДж	90	130	50	120	60	200
4. Стоимость топлива, руб	0	0	0	0	0	0
5. Стоимость перевозки топлива, руб/км	0	0	0	0	0	0
6. Длина дороги, км	0	0	0	0	0	0
7. Стоимость погрузки топлива, руб	0	0	0	0	0	0
8. Стоимость разгрузки топлива, руб	0	0	0	0	0	0

Себестоимость

МГЭС	СЭС	ВЭУ	БГУ	ССТ	ЭК
472,0(	992,0(	759,0(	795,0(	1180,(	770,0(

Вычислить себестоимость

Показатели

Энергоустановки

	МГЭС	СЭС	ВЭУ	БГУ	ССТ	ЭК
1. Себестоимость, руб/ГДж	472.0	992.0	759.0	795.0	1180.	770.0
2. Металлоемкость, кг/кВт	30	10	260	10	15	0
3. Использование территорий, га/МВт	10	1.1	10	20	1.1	0
4. Обслуживающий персонал, чел/кВт	0.1	1	2	0.1	2	0
5. Степень использования ВИЭ	0	0	0	0	0	0
6. Диск-й срок окупаемости	0	0	0	0	0	0
7. Расход на СН	0	0	0	0	0	0
8. 1/(эф-т от р. вв. объ-та в экспл.)	0	0	0	0	0	0
9. Стабильность энергоснабжения	0	0	0	0	0	0
10. 1/(срок службы оборудования)	0	0	0	0	0	0
11. Степень экол-го загрязнения	0	0	0	0	0	0
12. Удовлетворенность персонала	0	0	0	0	0	0
13. Престижность работы	0	0	0	0	0	0
14. 1/КИУМ	0	0	0	0	0	0
15. Маневренность	0	0	0	0	0	0

Вычислить площади

Площади "паук-ЦИС" диаграмм

Для электроустановок

1	2	3	4
БГУ	СЭС	МГЭС	ВЭУ
28,94	35,25	51,33	709,7

Для теплоустановок

1	2
ЭК	ССТ
0,00	62,89

Время, ч

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Эл-я нагрузка пот-ля, кВт*ч	30	38	43	55	67	90	100	125	140	190	200	256
Теп-я нагрузка пот-ля, кВт*ч	10	12	15	28	35	46	55	67	70	84	120	133
Электроэнергия в ЭК, кВт*ч	211,45	203,45	198,45	186,45	174,45	151,45	141,45	123,75	115,45	71,25	65,55	12,15
Выработка МГЭС, кВт*ч	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65	237,6	237,65	237,65
Выработка СЭС, кВт*ч	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	14,0	19,8	24,1	26,7
Выработка ВЭУ, кВт*ч	2,3	9,6	3,5	5,1	10,2	6,7	5,1	5,1	3,8	5,1	2,3	1,4
Выработка БГУ, кВт*ч	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Выдача ЭК, кВт*ч	148,01	142,41	138,91	130,51	122,11	106,01	99,01	86,63	80,81	49,88	45,88	8,51
Выработка ССТ, кВт*ч	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	15,6	22,0	26,8	29,7

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Эл-я нагрузка пот-ля, кВт*ч	310	300	264	286	305	260	250	245	200	186	100	50
Теп-я нагрузка пот-ля, кВт*ч	155	147	104	89	95	136	123	90	74	53	36	18
Электроэнергия в ЭК, кВт*ч	-40,35	-31,05	0,4500	-23,85	-46,35	-8,349	-3,049	0	0	0	0	0
Выработка МГЭС, кВт*ч	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65	237,65
Выработка СЭС, кВт*ч	27,4	26,1	23,0	18,2	12,1	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Выработка ВЭУ, кВт*ч	0,8	1,4	1,9	2,5	5,1	5,1	5,5	2,3	9,6	10,2	5,1	7,1
Выработка БГУ, кВт*ч	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Выдача ЭК, кВт*ч	-28,24	-21,73	0,32	-16,69	-32,44	-5,84	-2,13	0	0	0	0	0
Выработка ССТ, кВт*ч	30,4	29,0	25,5	20,2	13,4	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

КПД ЭК 0,7

ОПТИМИЗАЦИЯ

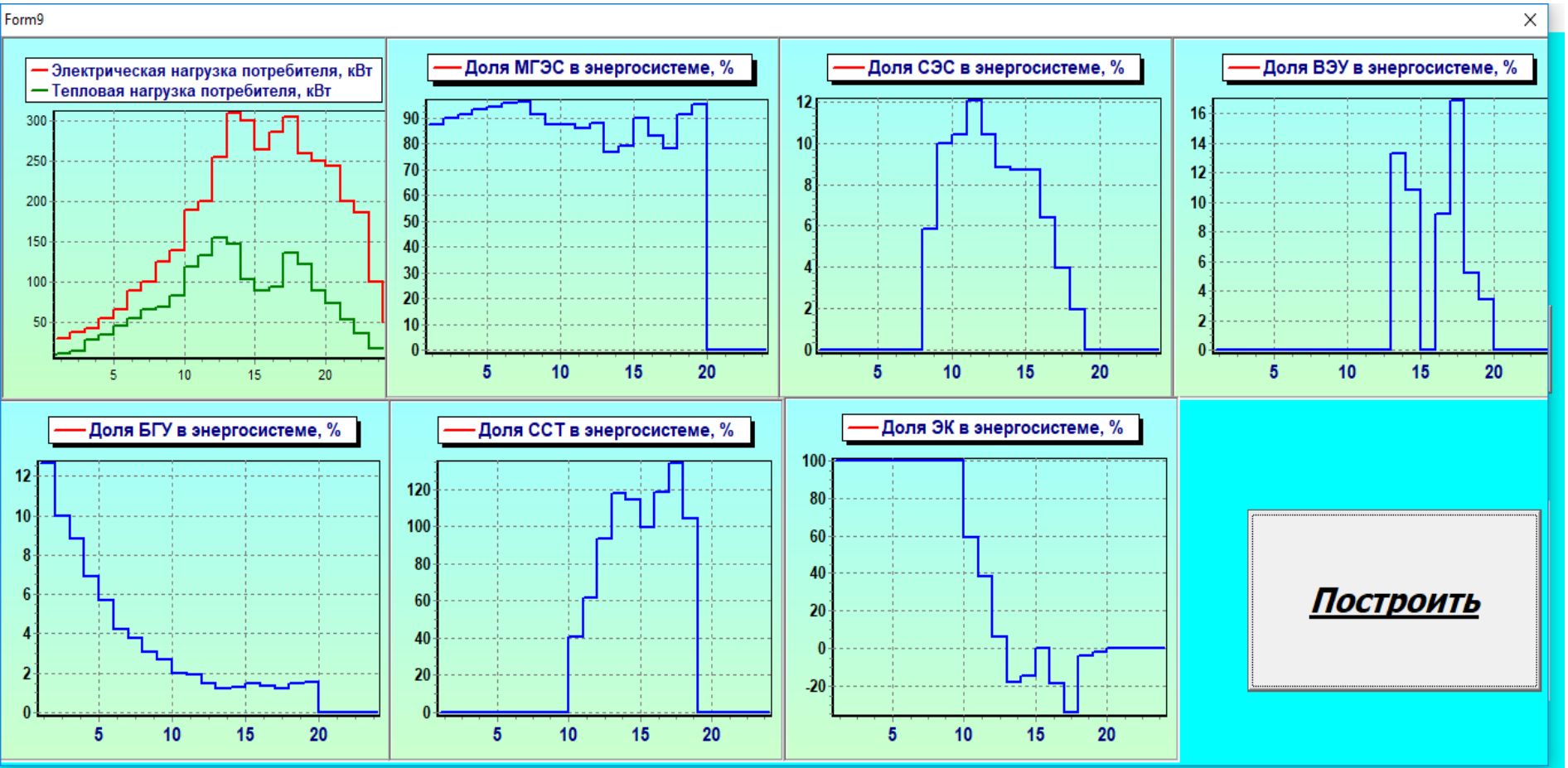
ГРАФИКИ

Доля от выработки на потребление / Доля в энергосистеме , %

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МГЭС	11/87	14/90	16/91	22/93	27/94	36/96	40/96	48/91	51/87	70/88	72/86	95/88
СЭС	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	100/6	100/10	100/10	100/1	100/10
ВЭУ	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
БГУ	100/13	100/10	100/9	100/7	100/6	100/4	100/4	100/3	100/3	100/2	100/2	100/1
ССТ	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	155/41	277/6	419/94
ЭК	87/100	0	0	0	0	0	0	0	0	100/59	100/3	100/6

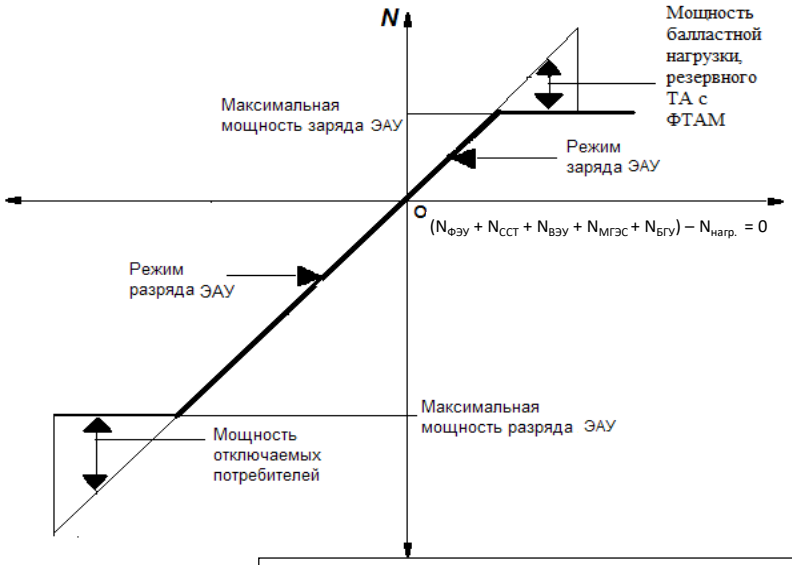
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МГЭС	100/77	100/79	100/9	100/83	100/78	100/91	100/9	0	0	0	0	0
СЭС	100/9	100/9	100/9	100/6	100/4	100/2	0/0	0	0	0	0	0
ВЭУ	5144/1	2318/1	0/0	1054/9	1009/1	264/5	155/3	0	0	0	0	0
БГУ	100/1	100/1	100/1	100/1	100/1	100/1	100/2	0	0	0	0	0
ССТ	603/11	582/11	407/1	523/11	951/13	2489/1	0	0	0	0	0	0
ЭК	100/-18	100/-1	100/0	100/-1	100/-34	100/-4	0	0	0	0	0	0

Графики показывающие режимы работы каждой ЭУ на примере конкретного потребителя



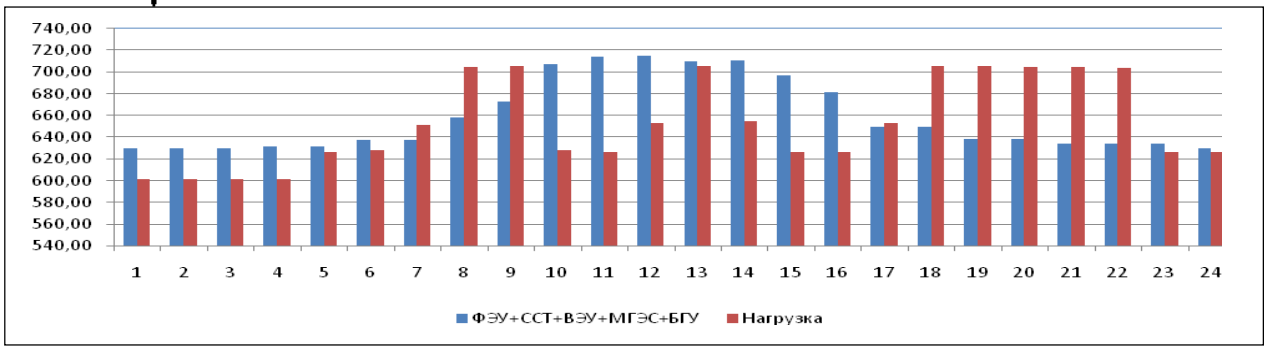
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МГЭС	11/87	14/90	16/91	22/93	27/94	36/96	40/96	48/91	51/87	70/88	72/86	95/88	100/77	100/79	100/9(	100/83	100/78	100/91	100/95	0	0	0	0	0
СЭС	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	100/6	100/10	100/10	100/1:	100/10	100/9	100/9	100/9	100/6	100/4	100/2	0/0	0	0	0	0	0
ВЭУ	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	5144/1:	2318/1	0/0	1054/9	1009/1:	264/5	155/3	0	0	0	0	0
БГУ	100/13	100/10	100/9	100/7	100/6	100/4	100/4	100/3	100/3	100/2	100/2	100/1	100/1	100/1	100/1	100/1	100/1	100/1	100/2	0	0	0	0	0
ССТ	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	155/41	277/6:	419/94	603/11	582/11	407/1(	523/11	951/13	2489/1	0	0	0	0	0	0
ЭК	87/100	0	0	0	0	0	0	0	0	100/59	100/3:	100/6	100/-18	100/-1:	100/0	100/-1:	100/-34	100/-4	0	0	0	0	0	0

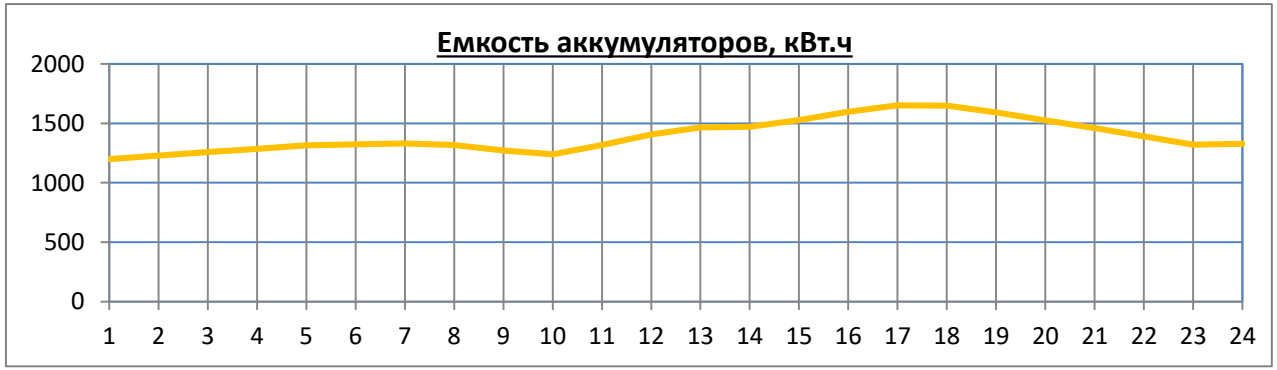
Режим эксплуатации МЭК



$$N_{нагр.} = F_{ФЭУ} \cdot N^{уд}_{ФЭУ} + F_{ССТ} \cdot N^{уд}_{ССТ} + F_{ВЭУ} \cdot N^{уд}_{ВЭУ} + N_{ГЭС} + N_{БГУ} + N_{ЭАУ} + N_{балластнойТА}$$

$$W_{ЭАУ} = W^{0}_{ЭАУ} + \int_{0}^{T} (N_{АБ} \cdot \eta_{АБ} + N_{ТА} \cdot \eta_{ТА}) dt$$





Суточный режим работы МЭК для характерного дня января месяца

Защита прав на программное обеспечение

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017663797

Оптимизация состава энергокомплекса

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дагестанский государственный университет" (RU)*

Авторы: *Бабаев Баба Джабраилович (RU), Шевердиев Ражидин Пирведедович (RU)*

Заявка № 2017660848
Дата поступления 26 октября 2017 г.
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ *12 декабря 2017 г.*

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Расширение использования возобновляемых источников энергии имеет большое значение в развитии распределенной энергетики.
2. Задача оптимизации состоит в минимизации целевой функции, и решение системы уравнений (определение состава элементов энергокомплекса и режимов работы всех элементов в каждый момент времени) с соответствующими ограничениями и дополнительными соотношениями имеет большое значение в расширении использования ВИЭ.
3. Разработка ПВК по приведенной методике оптимизации систем энергоснабжения автономного потребителя позволит автоматизировано получать необходимые технические данные для проектирования ЭК, более обоснованно выбрать оптимальный вариант энергоснабжения сравнением большого количества вариантов по многим взаимосвязанным технико-экономическим, социальным и экологическим критериям, позволит сформировать оптимальный ЭК.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!