

Выбор типа комбинированной установки для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей

Д.В. Гринько, аспирант, Оренбургский ГАУ

Для выявления потенциала комбинированного использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) необходимо определить ресурсы солнечной и ветровой энергии, конфигурацию энергогенерирующей системы и рабочий процесс, который определяет, как те или иные узлы будут работать вместе в конкретной ситуации в течение длительного периода времени.

Использование программного обеспечения (ПО) в качестве инструмента для выполнения научных исследований уменьшает объём физических экспериментов, проведение которых в ряде случаев по тем или иным причинам представляется затруднительным или невозможным. В связи с этим в Национальной лаборатории возобновляемых источников энергии (NREL, США) было разработано программное обеспечение имитационного моделирования Hybrid Optimization Model for Electric Renewables 2 (HOMER 2), версия 2.81[1], для технического и экономического анализа параметров комбинированных систем.

Сотрудники лаборатории NREL проанализировали возможность использования 10-киловаттной комбинированной ветро-дизельной установки в Мурманской области. Данный регион располагает одним из самых высоких на европейской части территории России потенциалов ветровой энергии. Исследование показало, что комбинированная установка была бы более эффективна, чем существующий 16-киловаттный дизельный генератор. По оценке, стоимость производства электроэнергии от дизельной установки составляла бы 0,30–0,75\$ за кВт·час, тогда как стоимость для комбинированной ветро-дизельной установки составила бы 0,23–0,27\$ за кВт·час [2].

В данной работе рассмотрена возможность использования комбинированных установок на основе ВИЭ для электроснабжения части жилого комплекса Экодолье, расположенного в районе с. Ивановка Оренбургского района, за период 25 лет. Среднесуточное потребление электроэнергии

принимается 76000 Вт·ч/сут, среднегодовое солнечное излучение в данной местности 3,565 кВт·ч/м²/сут, средняя годовая скорость ветра на высоте 25 м 4,6 м/с. Конфигурация оборудования исследуемых типов установок представлена в таблице 1.

Воздушная турбина. Отбор основывался на стоимости, выходном напряжении, мощности генератора и стартовой скорости, поскольку ресурс ветра в исследуемой местности не очень высок. На основе данных критериев отобрана ветротурбина Windelectric-Europe 5000 стоимостью 4765\$, генерирующая переменный ток, имеющая номинальную мощность генератора 5 кВт, горизонтальную ось вращения, стартовую скорость ветра 2,0 м/с и высоту мачты 25 м.

Солнечная фотоэлектрическая батарея. Стоимость солнечных модулей на основе аморфного кремния составляет 4600\$ за 1 кВт установленной мощности. Отдаваемая мощность устройства вычисляется с использованием уравнения [1]:

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left(\frac{\bar{G}_T}{\bar{G}_{T, STC}} \right) \left[1 + \alpha_p (T_c - T_{c, STC}) \right], \quad (1)$$

где Y_{PV} – номинальная мощность солнечной батареи (кВт);

f_{PV} – коэффициент снижения мощности PV (%);

\bar{G}_T – количество солнечного излучения, падающего на солнечную батарею (кВт/м²);

$\bar{G}_{T, STC}$ – количество излучения в стандартных условиях испытаний (1 кВт/м²);

α_p – температурный коэффициент мощности (%/°C);

T_c – температура солнечной батареи в текущее время (°C);

$T_{c, STC}$ – температура батареи в стандартных условиях испытаний (25°C).

Группа аккумуляторных батарей: выбрана модель SURRETTE 6CS25P из библиотеки «HOMER 2», стоимость была уточнена на веб-сайте производителя и составила 950\$. Срок службы группы батареи рассчитывается по формуле [1]:

1. Конфигурация оборудования

Компонент установки	Тип установки			
	ветро-солнечно-дизельная	ветро-дизельная	солнечно-дизельная	дизельная
Ветротурбина	5 kW	5 kW	–	–
Солнечная батарея	5 kW	–	5 kW	–
Группа аккумуляторных батарей	7 шт., 6V 1156 Ah, 6,94 kWh			
Инвертор	15 kW	15 kW	15 kW	15 kW
Дизельный генератор	15 kW	15 kW	15 kW	15 kW

$$R_{batt} = MIN \left(\frac{N_{batt} \cdot Q_{lifetime}}{Q_{thrpt}}, R_{batt,f} \right), \quad (2)$$

где N_{batt} – количество батарей в группе;
 $Q_{lifetime}$ – пропускная способность одной аккумуляторной батареи (кВт);
 Q_{thrpt} – ежегодная пропускная способность аккумуляторной батареи (сумма количества энергии, проходящей через группу батареи за один год) (кВт · ч/год);
 $R_{batt,f}$ – буферный срок службы батареи (максимальный срок службы независимо от пропускной способности), (лет).

Стоимость износа батареи вычисляется следующим образом [1]:

$$c_{bw} = \frac{C_{rep,batt}}{N_{batt} \cdot Q_{lifetime} \cdot \sqrt{\eta_{rt}}}, \quad (3)$$

где $C_{rep,batt}$ – стоимость замены группы батареи (\$);
 $\sqrt{\eta_{rt}}$ – эффективность заряда-разряда батареи (%).

Инвертор: выбрана модель HYUNDAI стоимостью 1000\$. Эффективность инвертора принимается равной 90%.

Дизельный генератор: выбрана модель «Азимут» АД 15-Т400, мощностью 15 кВт, стоимостью 5250\$. Затраты на генератор рассчитываются по формуле [1]:

$$c_{gen, fixed} = c_{om, gen} + \frac{C_{rep, gen}}{R_{gen}} + F_0 Y_{gen} c_{fuel, eff}, \quad (4)$$

где $c_{om, gen}$ – техническое обслуживание (\$ / час);
 $C_{rep, gen}$ – стоимость замены (\$);
 R_{gen} – срок службы генератора (часов);
 F_0 – коэффициент кривой топлива генератора (л/час/кВт);
 Y_{gen} – мощность генератора (кВт);
 $C_{fuel, eff}$ – цена топлива (\$/л).

База ПО «NOMER 2» содержит 6 типов вредных веществ, исходя из типа и количества расходуемого топлива, ПО определяет количество выбросов от дизельного генератора. С использованием ПО «NOMER 2» произведён последовательный поиск возможных вариантов комбинаций компонентов, наиболее оптимальные результаты отображены на рисунке 1, результаты моделирования приведены в таблице 2.

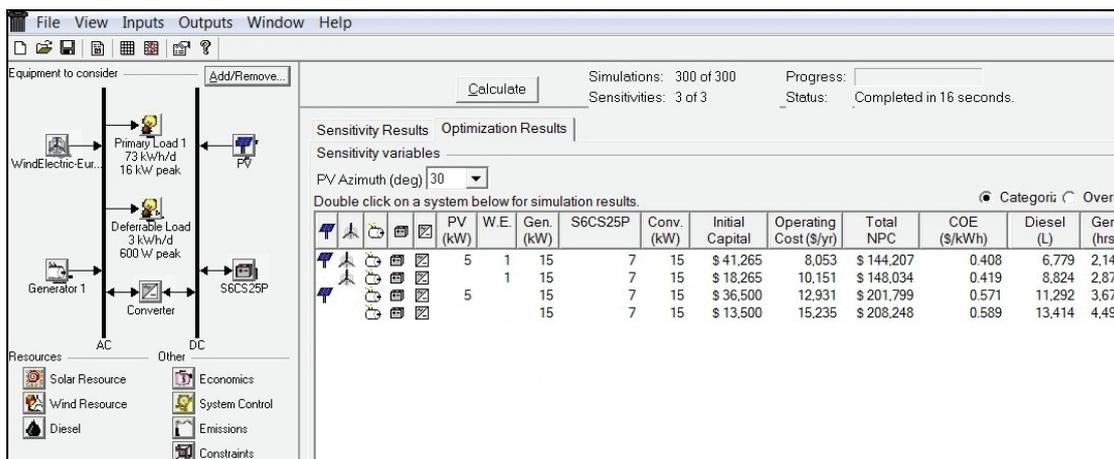


Рис. 1 – Оптимизация результатов ПО «NOMER 2»

2. Результаты моделирования ПО «NOMER 2»

Тип установки	Начальные вложения, \$	Эксплуатационные затраты, \$/год	Вложения за 25 лет, \$	Цена выработанной энергии, \$/кВт · ч	Расход диз. топлива, л/год	Работа диз. генератора, ч/год
Ветро-солнечно-дизельная	41,265	8,053	144,207	0,408	6779	2142
Ветро-дизельная	18,265	10,151	148,034	0,419	8824	2873
Солнечно-дизельная	36,500	12,931	201,799	0,571	11292	3679
Дизельная	13,500	15,235	208,248	0,589	13414	4499

3. Результаты интеграции ВИЭ с электрической сетью

Тип установки	Начальные вложения, \$	Эксплуатационные затраты, \$/год	Вложения за 25 лет, \$	Цена выработанной энергии, \$/кВт · ч
Солнечно-сетевая	31,250	1,300	114,150	0,165
Ветро-солнечно-сетевая	36,015	886	113,125	0,163
Ветро-сетевая	13,015	935	69,375	0,100

Следует отметить существующую возможность интеграции ВИЭ с централизованной электрической сетью, результаты расчётов представлены в таблице 3.

По таблице 3 видно, что использование электрической сети в качестве резервного источника питания вместо дизельного генератора сокращает вложения и уменьшает стоимость энергии при условии, что выработанная энергия при исключении из системы генератора заменена электроэнергией от сети по тарифу 1,55 руб. за 1 кВт·ч [3]. Рост тарифа и стоимость подключения не учитывались. Вложения в солнечно-сетевую установку за 25 лет и цена выработанной энергии составят 114,150 и 0,165\$ соответственно, при добавлении в систему воздушной турбины результаты расчётов общей стоимости и цены выработанной электроэнергии остаются практически инвариантными. Высокая стоимость выработанной энергии от установок на основе использования энергии солнца обусловлена большой ценой на солнечные элементы. Минимальными вложениями 69,375\$ и ценой за энергию 0,100\$ обладает ветро-сетевая установка.

Электроснабжение жилого массива Экодолье осуществляется от подстанции «Пугачёвская» 110 кВ, относящейся к Центральному энерго району Оренбургской энергосистемы. Собственная генерация Центрального энерго района покрывает 80% зимнего потребления и 40% летнего. Район является дефицитным по активной мощности, с высокой вероятностью нарушения устойчивости

при аварийных отключениях ВЛ 500 220 кВ и не позволяет обеспечивать достаточную надёжность электроснабжения потребителей [4, 5]. Принимая во внимание вышеобозначенные проблемы текущего состояния энергосистемы на территории Оренбургской области, предлагается перейти в перспективе на децентрализованное электроснабжение, в дальнейшем установки, интегрированные с централизованной электрической сетью, не рассматриваются.

Процентное соотношение выработанной электроэнергии от ВИЭ комбинированной с дизельным генератором представлено в таблице 4.

На рисунке 2 представлены диаграммы выработки электроэнергии, сгенерированные ПО «NOMER 2» для децентрализованных установок.

Количество выбросов вредных веществ от установок приведено в таблице 5. Плату за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС) рассчитывают по следующей формуле [6]:

$$Pn_{атм} = \sum_{i=1}^n Cni_{атм} \cdot Mi_{атм} \cdot Kэ_{атм} \cdot K_{ин} \quad (5)$$

при $Mi_{атм} \leq Mni_{атм}$,

где i – вид загрязняющего вещества ($i = 1, 2, 3...n$);

$Pn_{атм}$ – плата за выбросы загрязняющих веществ в пределах установленных нормативов выбросов (руб.);

$Cni_{атм}$ – норматив платы за выброс одной тонны i -го загрязняющего вещества в пределах установленных нормативом выбросов (руб.);

4. Количество выработанной энергии, кВт/год

Источник энергии	Установка			
	ветро-солнечно-дизельная	ветро-дизельная	солнечно-дизельная	дизельная
Ветер	12484 (35%)	12,484 (37%)	–	–
Солнце	6172 (17%)	–	6,172 (18%)	–
Дизель	16833 (47%)	21,506 (63%)	27,509 (82%)	32,058 (100%)
Суммарное количество	35489 (100%)	33,990 (100%)	33,681 (100%)	32,058 (100%)

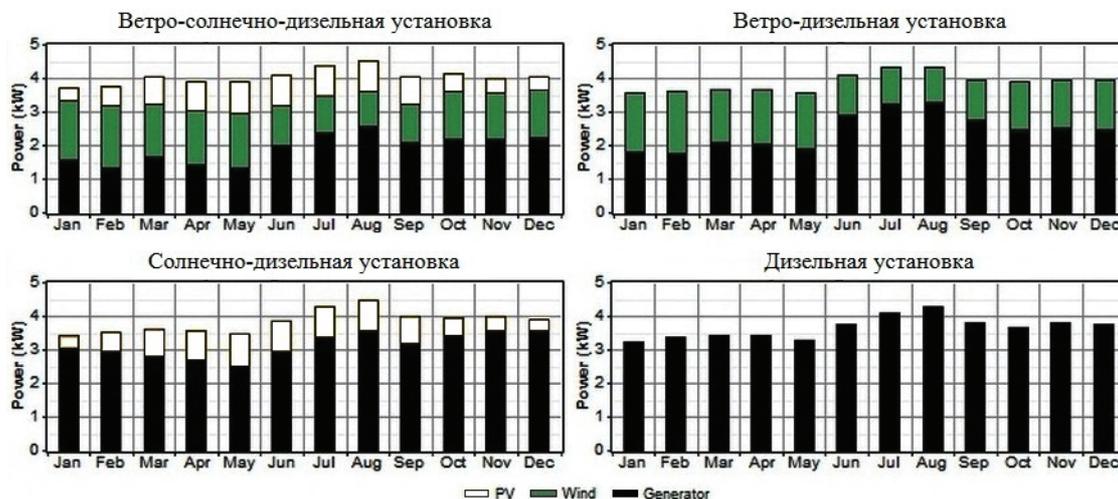


Рис. 2 – Диаграммы выработки электроэнергии

5. Количество выбросов вредных веществ

Тип установки	Выбросы вредных веществ, кг/год						НВОС (\$/год)
	диоксид углерода	окись углерода	несгоревшие углеводороды	дисперсные частицы	диоксид серы	оксид азота	
Ветро-солнечно-дизельная	17,851	44,1	4,88	3,32	35,8	393	1098
Ветро-дизельная	23,237	57,4	6,35	4,32	46,7	512	1429
Солнечно-дизельная	29,736	73,4	8,13	5,53	59,7	655	1829
Дизельная	35,322	87,2	9,66	6,57	70,9	778	2173

$Mi_{атм}$ – фактическая масса выброса i -го загрязняющего вещества (т);

$Mni_{атм}$ – допустимый выброс i -го загрязняющего вещества в пределах установленного норматива (т);

$Kэ_{атм}$ – коэффициент, учитывающий экологический фактор состояния атмосферного воздуха в данном регионе;

$K_{ин}$ – коэффициент индексации платы за негативное воздействие на окружающую среду.

Установка, основанная на выработке электроэнергии дизельным генератором, имеет наименьшие начальные капитальные затраты, но обладает высокой совокупной стоимостью для проекта в целом, как показано в таблице 2. Кроме того, работе системы сопутствует большое количество выбросов вредных веществ – 35,322 кг/год, 70,9 кг/год и 778 кг/год (табл. 5).

Использование солнечно-дизельной установки позволяет сократить выработку энергии от дизельного генератора до 82%, как показано в таблице 4, уменьшить долю вредных выбросов по сравнению с выбросами от дизельного генератора на 5,586 кг/год, на 11,2 кг/год и на 123 кг/год (табл. 5).

Ветро-дизельная установка сокращает долю выработки энергии от дизельного генератора до 63% (табл. 4) и уменьшает долю вредных выбросов по сравнению с выбросами от дизельного генератора на 12,085 кг/год, на 24,2 кг/год и на 266 кг/год (табл. 5).

Ветро-солнечно-дизельная установка снижает долю выработки энергии от дизельного генератора до 47% (табл. 4), таким образом сокращая количество вредных выбросов по сравнению с выбросами от дизельного генератора на 17,471 кг/год, на 35,1 кг/год и на 385 кг/год (табл. 5).

Таким образом, технико-экономические расчёты сочетания компонентов комбинированных устройств, генерирующих энергию, позволяют

выбрать оптимальный тип устройства для места изыскания. При условии децентрализованного электроснабжения все рассмотренные типы установок, основанных на ВИЭ с резервным дизельным генератором, являются более эффективными по сравнению с использованием в качестве источника энергии только дизельного генератора. Наиболее эффективной при децентрализованном электроснабжении является ветро-солнечно-дизельная установка, несмотря на большие первоначальные затраты, имеющая наименьшие общие вложения за 25 лет, самую минимальную стоимость выработанной электроэнергии и более низкую плату за НВОС за счёт меньшего количества выбросов загрязняющих веществ по сравнению с остальными установками, что также даёт значительные преимущества с экологической точки зрения.

Литература

1. HOMER, the micropower optimization model. URL: <http://www.nrel.gov/homer>, свободный. Загл. с экрана. (дата обращения 03.06.2012).
2. Martinot, E. (1999) «Renewable Energy in Russia: Markets, Development and Technology Transfer», Renewable and Sustainable Energy Reviews 3: 49-75. URL: http://www.martinot.info/re_publications.htm. (дата обращения 03.06.2012).
3. Приказ департамента Оренбургской области по ценам и регулированию тарифов от 06.12.2012 № 151-э/э «Об утверждении тарифов на электрическую энергию, поставляемую населению и приравненным к нему категориям потребителей, на 2013 год». URL: http://www.orensbyt.ru/prikaz_151_2012.pdf, свободный. Загл. с экрана. (дата обращения 20.09.2013).
4. Схема и программа развития электроэнергетики, утверждённые губернатором – председателем правительства Оренбургской области Ю.А. Бергом, на период 2014–2018 гг. URL: http://nota.potext.ru/tw_files2/urls_2/2/d-1348/7z-docs/3.pdf, свободный. Загл. с экрана. (дата обращения 20.09.2013).
5. Программа развития электроэнергетики Оренбургской области, утверждённая губернатором – председателем правительства Оренбургской области Ю.А. Бергом на 2013–2017 годы, от 28.04.2012. URL: <http://energy.csti.yar.ru/documents/view/5620120050>, свободный. Загл. с экрана. (дата обращения 20.09.2013).
6. А.Ю. Ильина, редактор-эксперт журнала «Бюджетный учёт». Плата за негативное воздействие на окружающую среду. URL: <http://b-uchet.ru/article/35538.php>, свободный. Загл. с экрана. (дата обращения 03.10.2013).