

УДК 621.548

Р.В. Кальныш, С.И. Лось

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕТРООПРЕСНИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА С ВОДОРОДНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

Рассмотрена методика выбора оптимальных параметров ветроопреснительного комплекса с водородным накопителем энергии на базе модуля годового прогноза скорости ветра и разработана демонстрационная версия работы ветроводородного комплекса, которая позволяет в режиме реального времени проанализировать работу комплекса и его отдельных агрегатов.

Розглянуто методику вибору оптимальних параметрів вітроопреснювального комплексу з водневим нагромаджувачем енергії на базі модуля річного прогнозування швидкості вітру та розроблено демонстраційну версію роботи вітроводневого комплексу, яка дозволяє в режимі реального часу проаналізувати роботу комплексу і його окремих агрегатів.

The technique of selection of optimal parameters of a wind-desalinating complex with hydrogen energy storage system based on a wind speed annual prediction module is considered and the demonstration version of the wind-hydrogen complex is developed that allows to analyze operation of the complex and its separate units in real time.

Для решения оптимизационной задачи по выбору характеристик элементов ветроопреснительного комплекса с водородным накопителем энергии необходимо определить характерную для места расположения комплекса ветровую обстановку. Знание особенностей ветровой обстановки, в целом характерной для большинства районов расположения ветростанций, должно помочь определить рациональные соотношения основных характеристик ветроводородной опреснительной станции: мощность ветроагрегатов, мощность и запас емкости водо-

родного аккумулятора применительно к мощности опреснителя.

На ГП "КБ "Южное" накоплен большой массив информации по замерам скорости ветра на площадках, где проходили отработку ветроагрегаты. Особую ценность имеют материалы по замерам скорости ветра на нескольких высотах в течение одного календарного года, на базе которых можно делать достаточно качественные прогнозы и выводы.

Общая картина изменения скорости ветра на площадке наглядно показана на рис. 1.



Рис. 1. График текущей скорости ветра при $V_{cp} = 9,00$ м/с

Приведенные материалы подтверждают общий вывод об апериодическом случайном характере изменения скорости ветра.

Для оптимизации параметров элементов ветроопреснительного комплекса был разработан программный модуль, имитирующий совместную работу ветроустановок различной мощности, которые передают выработанную электроэнергию на опреснитель, а излишек сбрасывают на электролизер. Электролизер вырабатывает водород, который накапливается в аккумуляторах

батареях, и в ситуации, когда мощности ветроустановки недостаточно для нормальной работы опреснителя, накопленный водород через топливный элемент отдает необходимое количество электроэнергии опреснителю. Программный модуль позволяет менять основные параметры компонентов: мощность ветроустановки, мощность опреснителя, объем аккумулятора.

Проведена серия расчетов, в которых варьировались разные параметры (табл. 1).

Таблица 1

Мощность ветроустановки, МВт	1	1,5	2
Мощность опреснителя, кВт	500	400	300
Начальный запас энергии в аккумуляторе, МВт·ч	100		
Емкость накопителя	Без ограничений		
Мощность электролизера, МВт	0,5	1,0	1,5
КПД преобразования энергии на электролизере	0,65		
КПД преобразования энергии на топливном элементе	0,65		
Время работы комплекса	1 год		
Среднегодовая скорость ветра, м/с	8		

Основные параметры работы ветроустановки в зависимости от установленной мощности для среднегодовой скорости ветра 8 м/с приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика	Установленная мощность ветроустановки, МВт		
	1,0	1,5	2,0
Годовая выработка, МВт·ч, в том числе:			
на мощности ≥ 500 кВт	3421	5634	8047
на мощности ≤ 500 кВт	2505	4952	7418
Время работы, в том числе:			
на мощности ≥ 500 кВт	916	682	628
на мощности ≤ 500 кВт	8736	8736	8736
на мощности ≥ 500 кВт	2871	4308	5544
на мощности ≤ 500 кВт	5755	4326	3098
время простоя	110	102	94

Годовая выработка электроэнергии, требуемая для бесперебойной работы опреснителя мощностью 500 кВт, составляет 4368 МВт·ч. Сравнивая этот показатель с результатами расчетов, приведенных в табл. 2, можно сделать вывод, что ветроустановка мощностью 1 МВт, вырабатывающая за год всего 3421 МВт·ч электроэнергии, не подходит для работы с опреснителем мощностью 500 кВт. Годовая выработ-

ка ветроустановки мощностью 1,5 МВт превышает требуемый запас энергии на 28 %, а ветроустановки мощностью 2 МВт – практически вдвое. Этот вывод наглядно демонстрирует приведенный на рис. 2 график аккумуляирования избыточной энергии в водородном накопителе при работе опреснителя мощностью 500 кВт с ветроустановками различной мощности.

Анализируя более детально характер совместной работы ветроустановки, опреснителя, электролизера и накопителя, можно сделать следующие выводы:

1. Просматривается четкая тенденция влияния сезонных ветров на работу системы.

2. В сезон сильных ветров (период с октября по апрель) наблюдается избыточная мощность как 1,5-, так и 2-мегаваттной установки для работы с опреснителем. Кривая емкости аккумулятора в этот период имеет устойчивую тенденцию к росту.

Текущие падения емкости аккумулятора не превышают 40 МВт·ч.

3. В сезон слабых ветров (период с мая по сентябрь) мощности 2-мегаваттной установки достаточно для поддержания практически постоянного запаса энергии в аккумуляторе. Даже в этот период наблюдается тенденция к небольшому росту текущей емкости. Наибольшее падение текущей емкости (не более 100 МВт·ч) отмечено в период длительного безветрия (период с 5 по 28 сентября).

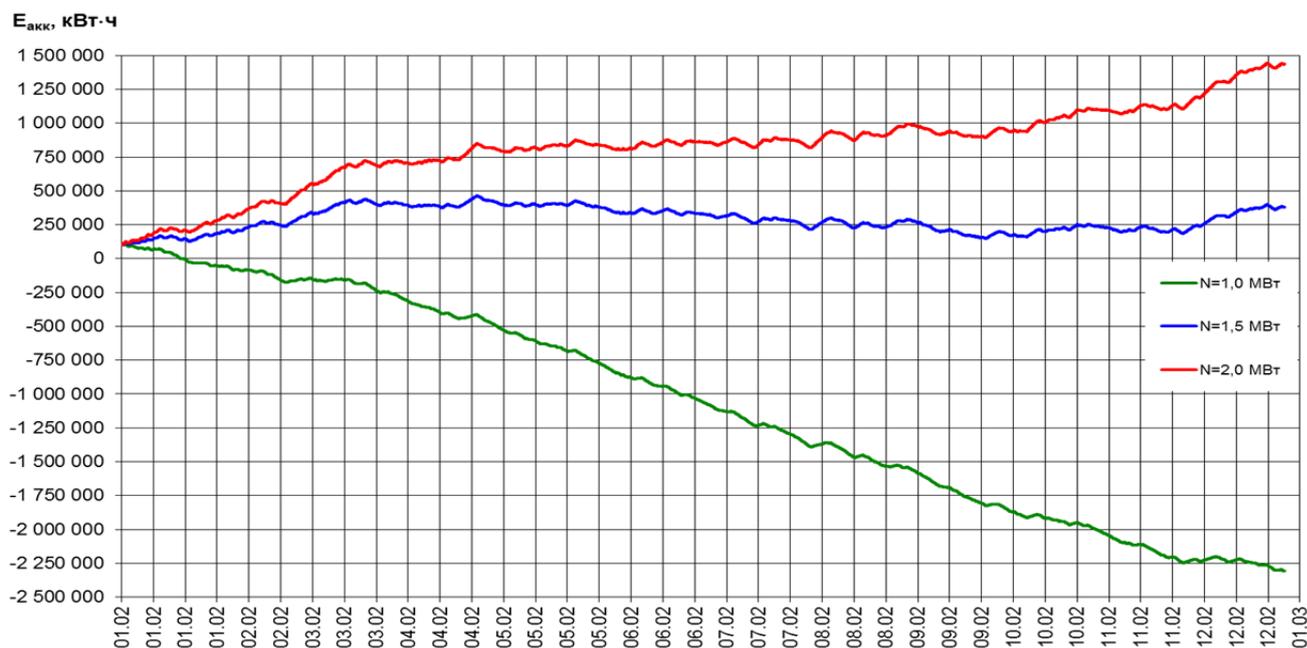


Рис. 2. График аккумулярования избыточной энергии при работе ВЭУ мощностью 1, 1,5 и 2 МВт на постоянную нагрузку опреснителя мощностью 500 кВт

4. В сезон слабых ветров (период с мая по сентябрь) мощности 1,5-мегаваттной установки явно недостаточно для обеспечения бесперебойной работы опреснителя мощностью 500 кВт. В этот период кривая емкости аккумулятора постоянно падает. Суммарное падение емкости за этот период составляет 320 МВт·ч.

Расчеты показали принципиальную возможность обеспечения бесперебойной работы опреснителя мощностью 500 кВт при работе с ветроустановками мощностью 2 МВт. Основная задача – выбор минимально необходимой емкости аккумулятора и мощности электролизера.

На завершающей стадии проектирования комплекса проведены оптимизационные

расчеты мощности электролизера, как одной из основных составляющих ветроводородного комплекса. Учитывая то, что стоимость электролизера довольно высока и, по предварительным оценкам, составляет 700-800 \$ за 1 кВт мощности, удельная доля стоимости электролизера в стоимости комплекса составляет 15-20 %. Поэтому оптимизация его мощности может существенно влиять на экономические показатели комплекса в целом.

За базовый вариант расчетов был принят следующий состав комплекса:

- две ветроустановки мощностью 500 кВт с ротором мощностью 1 МВт;
- опреснитель мощностью 500 кВт;
- топливный элемент мощностью 500 кВт.

Расчеты проведены для вариантов мощности электролизера 1000, 500, 400, 300 и 200 кВт соответственно. Варьировались также и значения электрической емкости накопителя Q от 20 до 200 МВт·ч. В качестве критерия эффективности использовался коэффициент $K_{\text{раб}}$ – процент времени работы электролизера в течение года. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные характеристики электролизера

Параметр	Значение параметра			
	1000	500	400	300
Мощность электролизера, кВт				
Электрическая емкость накопителя, МВт·ч/ $K_{\text{раб}}$	20/63,8	20/58,8	20/56,7	20/53,7
	30/84,9	30/81,7	30/77,9	30/73,1
	40/93	40/89,4	40/88,6	50/85,3
	50/96,8	60/96,6	60/94,4	80/88,8
	60/99,5	80/99,5	80/98,5	100/90,1 150/96,2 180/98,9
Максимальное время одного выключения	82	82	84	98
Количество выключений	13	13	14	18

Анализ полученных материалов позволяет сделать следующие выводы:

1. Снижение мощности электролизера с 1000 до 400 кВт практически не сказывается на эффективности работы системы в целом. Детальный анализ процессов в накопителе показывает, что наибольшая эффективность электролизера приходится как раз на накопление выработки ветроагрегата на средних ветрах, составляющих в общем балансе энергетики ветроагрегата до 30 % общего времени работы, когда ветроагрегат вырабатывает 30-70 % максимальной энергии, а также на малых ветрах, доля которых составляет 50-60 % общего времени работы, и ветроагрегат вырабатывает 10-30 % максимальной энергии. В этой ситуации использование электролизера, который работает на максимальной мощности 1000 кВт всего 2 % общего времени работы, явно не эффективно. Электролизер мощностью 400 кВт в этой ситуации более предпочтителен с точки зрения фактора цена – эффективность, так как позволяет получить практически равную с 1000-киловаттным электролизером эффективность при стоимости, меньшей на 60 %.

Достижение приемлемого коэффициента работы ветроагрегата не менее 95 % общего времени работы реализуется при емкости накопителя, равной 50-60 МВт·ч.

2. При переходе электролизера на мощность 300 кВт и ниже показатели работы комплекса резко ухудшаются – растет время как общего, так и единичного простоя. Для эффективной работы электролизера такой мощности необходимо увеличивать емкость накопителя практически в 3 раза в сравнении с рассмотренными выше случаями.

3. В целом, результаты расчетов показывают, что оптимальное соотношение мощности системы "Ветроагрегат" – "опреснитель + электролизер" на этапе проектных оценок может быть представлено соотношением 100 % – 25+20 %. Более корректные рекомендации можно получить по разработанной методике при условии знания ветровой обстановки в конкретном районе строительства ветроводородного комплекса.

Разработана демонстрационная версия работы ветроводородного комплекса, которая позволяет в режиме реального времени проанализировать работу комплекса и его отдельных агрегатов. В ее основу положен алгоритм управления, разработанный в ходе оптимизационных расчетов. Программа обеспечивает визуализацию:

- текущей скорости ветра;
- текущей потенциальной мощности ветроагрегата и мощности, ограниченной работой системы управления при условии полного заряда накопителя;
- работы системы управления по ограничению мощности ветроагрегата путем поворота лопастей;
- запасов энергии в накопителе;
- текущей мощности электролизера и топливного элемента.

На рис. 3 показан характерный момент перехода работы комплекса с режима ограничения мощности ветроагрегата на режим работы топливного элемента и уменьшения запаса энергии в накопителе при понижении силы ветра.

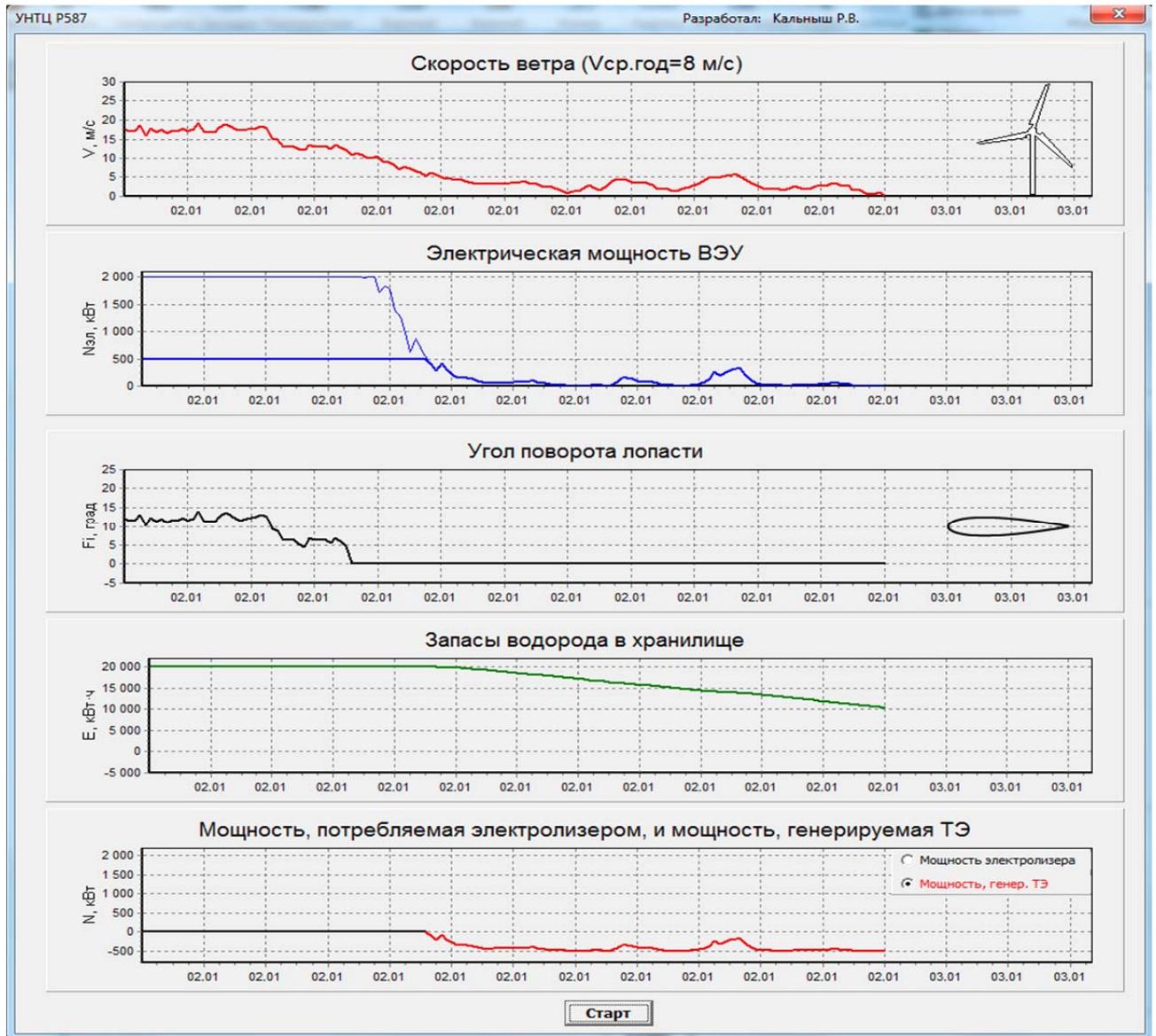


Рис. 3. Программная реализация ветроводородного комплекса

Использование этой демонстрационной версии помогает исследователю наглядно представить работу комплекса, более подробно проанализировать все возможные параметры работы агрегатов, связанные с изменением характера скорости ветра. В будущем эта система планируется к использованию как элемент автоматической системы управления работой ветроводородного комплекса. Она должна быть дополнена фактической информацией о текущей скорости ветра с метеомачты, данными с датчиков контроля текущих параметров узлов, блоком аварийных защит, а также системой сбора и архивации статистической информации.

В дополнение к демоверсии разработана демосхема работы комплекса, наглядно представляющая связи элементов комплекса в различные периоды ветровой обстановки.

Статья поступила 30.11.2015