

А.П. Губарев, д-р техн. наук, Е.Б. Чикова, Ю.А. Пыжиков, О.С. Ганпанцурова  
НТУ Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

## РАЗРАБОТКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТУПЕНЧАТОГО ОТБОРА И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ

---

*Пропонується гідралічна схема системи відбору потужності від вітродвигуна, яка забезпечує послідовне та/або паралельне підключення двох генераторів постійної потужності в залежності від швидкості вітру. Схема розрахована на три робочі діапазони швидкості повітряного потоку. Узгодження параметрів потужності вітродвигуна та генераторів забезпечується шляхом підключення додаткового насосу.*

*The hydraulic circuit of system of a picking out of power from the windmill, ensuring sequential and-or parallel hooking up of two generators of a constant power depending on a wind speed is offered. The circuit is calculated for three working ranges of airspeed. The coordination of arguments of power of the windmill and generators is ensured with hooking up of the additional pump.*

---

### **Введение**

Эффективность работы ветроустановок (получение большего количества энергии) в значительной степени зависит от способа отбора мощности. Известен ряд различных систем отбора мощности, но каждая из них требует наличия постоянной высокой скорости ветра [1]. Так как воздушный поток имеет нестабильные параметры (постоянное изменение направления и величины скорости), при работе ВЭУ возникают значительные потери отбираемой энергии, связанные с расхождениями между расчетной и действительной скоростями ветра. В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы создания систем отбора мощности, позволяющих при различных скоростях ветра получать энергию с максимальной эффективностью. Для решения этой задачи предложено применить схему переключения режимов работы, рассчитанных на различные скорости воздушного потока.

Целью данной работы является увеличение количества энергии вырабатываемой ВЭУ в условиях переменной скорости ветра путем применения адаптивной системы ступенчатого отбора мощности.

### **Адаптация системы отбора мощности к изменениям скорости ветра**

Работа системы может быть описана как множество последовательных во времени процессов отбора мощности при различных диапазонах скоростей воздушного потока. Задачей разрабатываемой системы является отслеживание текущего значения скорости ветра и последовательное переключение между режимами работы. Непрерывный отбор мощности от воздушного потока при различных скоростях ветра предлагается осуществить с помощью гидравлической системы с использованием в качестве преобразующих устройств двух электрогенераторов постоянной мощности 2 и 4 кВт [2]. Для этого предлагается система управления работой ВЭУ с гибким алгоритмом, которая сможет подключать и отключать генераторы в зависимости от изменения скорости воздушного потока (рис.1).

Предлагаемая гидравлическая система ступенчатого отбора и перераспределения мощности (рис.1) работает следующим образом. Мощность, получаемая от ветродви-

гателя 2, через редуктор передается на насос 1. При достижении минимальной скорости ветра, достаточной для начала работы генераторов, срабатывает датчик давления 5, который дает сигнал на распределительный клапан 7, в систему подключается гидромотор 11 и генератор мощностью 2 кВт. Стабильность частоты вращения гидромотора 11 поддерживается с помощью регулятора расхода 8. При увеличении скорости ветра до второго порогового значения, давление в гидравлической системе повышается, срабатывает датчик давления 5. Сигнал от датчика через систему управления поступает на электромагнит распределительного клапана 9 и в систему подключается гидромотор 12, и генератор мощностью 4 кВт. При этом цепь с генератором меньшей мощности отключается. При дальнейшем повышении скорости ветра, давление в гидравлической системе повышается, срабатывает датчик повышения давления 5 и в систему подключается гидромотор 11 с генератором мощностью 2 кВт (работают одновременно оба генератора). Обеспечение в системе расхода жидкости, необходимого для одновременной работы двух гидромоторов (двух генераторов), достигается за счет подключения второго насоса агрегата 1 с помощью распределительного клапана 4 (рис.1). Для плавных подключений цепей с генераторами в систему включен аккумулятор 3. При уменьшении скорости ветра работа системы происходит в обратном порядке. Понижение скорости контролируется по падению давления в гидравлической системе с помощью датчика давления 6.

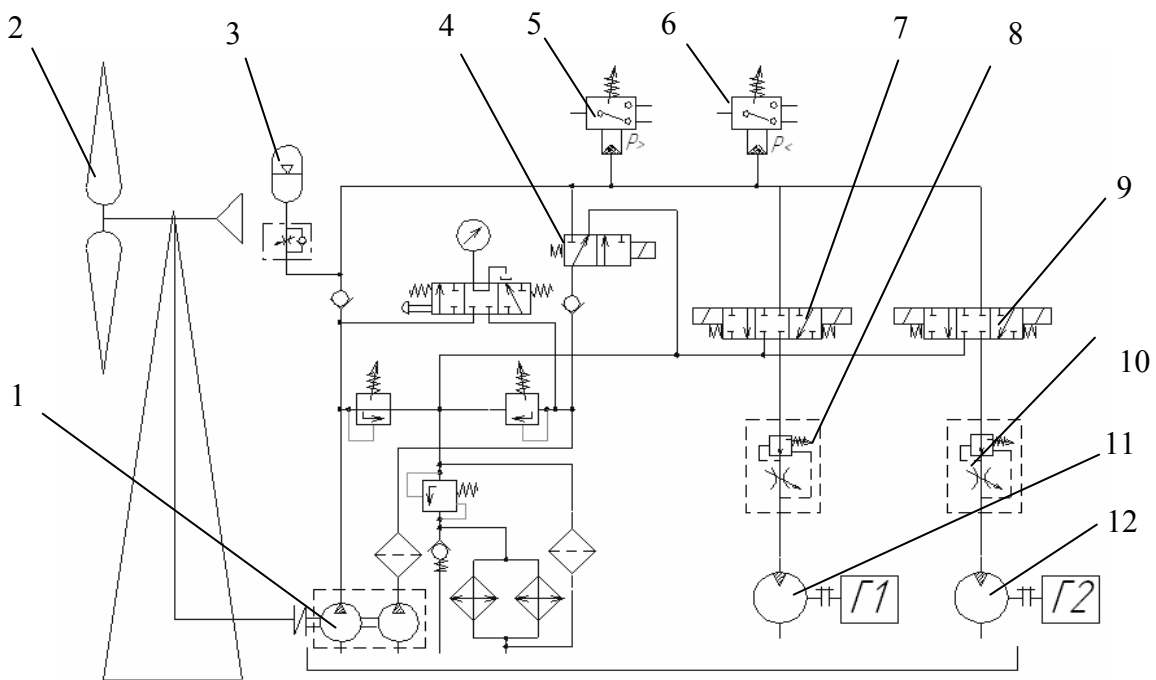


Рис.1 Гидравлическая схема:

1 – насосная станция; 2 – ветродвигатель; 3 – аккумулятор; 4 – распределительный клапан, подключающий в систему дополнительный насос; 5 – датчик повышения давления; 6 – датчик понижения давления; 7 – распределительный клапан, подключающий в систему гидромотор 11 с генератором мощностью 2 кВт; 8, 10 – регулятор расхода; 9 – распределительный клапан, подключающий в систему гидромотор 12 с генератором мощностью 4 кВт

С увеличением скорости воздушного потока пропорционально возрастает число оборотов ветродвигателя и приводного вала гидронасоса, вследствие этого пропорционально возрастает расход в гидросистеме. Мощность, отбираемая ветродвигателем, возрастает в кубической зависимости от скорости ветра [3]:

$$N_{ВД} = K_V \cdot V^3 = \omega_H(V) \cdot M_H(V^2),$$

где  $V$  - скорость воздушного потока,  $K_V$  - коэффициент пропорциональности,  $\omega_H$  - угловая скорость ветродвигателя,  $M_H$  - момент, возникающий на валу ветродвигателя.

Мощность, подводимая к гидромотору, работающему в условиях постоянной нагрузки (давления), учитывает только линейное возрастание скорости ветра:

$$N_{ГМ} = \omega_M \cdot M_M = p(const) \cdot Q(V),$$

где  $p$  - перепад давления на моторе,  $Q$  - потребляемый расход,  $\omega_M$  - угловая скорость мотора,  $M_M$  - момент на валу мотора.

Так как для работы системы с генератором переменного тока необходимо наличие постоянного давления (постоянный момент и число оборотов), для согласованной работы ветродвигателя и гидромотора необходимо преобразовать возрастание крутящего момента (давления) в дополнительный расход:

$$p_1 \cdot Q_1 \xrightarrow{V_1 \rightarrow V_2} p_2 \cdot Q_2 \xrightarrow{\text{подключение 2го насоса}} p_1 \cdot 2Q_1,$$

где  $p_1, p_2$  - давления, создаваемые насосом при скорости  $V_1$  и  $V_2$  соответственно,  $p_1 \cdot Q_1$  - расчетные параметры работы первого генератора,  $p_2 \cdot 2Q_2$  - расчетные параметры второго генератора.

Это обеспечивается подключением дополнительного насоса, расход которого будет приводить в движение мотор второго электрогенератора. Вторая расчетная скорость  $V_2$  определяется возрастанием мощности, достаточным для подключения второго генератора. Если принять, что мощность удваивается, то для этого будет достаточно следующего возрастания скорости:

$$N_2 = K_V \cdot V_2^3 = 2 \cdot N_1 = 2 \cdot K_V \cdot V_1^3 \Rightarrow V_2 = V_1 \cdot \sqrt[3]{2}.$$

Применим подход к повышению эффективности работы ветроагрегата путем последовательного подключения генераторов при увеличении скорости ветра и их отключение при понижении скорости. Будем рассматривать диапазон изменения скоростей от 5 до 10 м/с (наиболее часто встречающиеся ветры на территории Украины). Разобьем весь диапазон на три рабочих отрезка, соответствующих мощностям 2, 4 и 6 кВт:

- 1) скорость ветра в диапазоне 5 – 6,8 м/с;
- 2) скорость ветра в диапазоне 6,8 – 8,9 м/с;
- 3) скорость ветра в диапазоне 8,9 – 10 м/с.

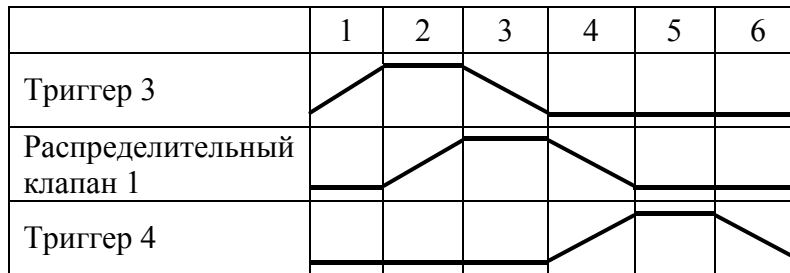


Рис.2. Циклограмма работы системы в диапазоне скоростей ветра 5...6,8 м/с.

При работе системы только в первом диапазоне скоростей работает один генератор мощностью 2 кВт. Система работает по циклу, представленному на рис 2.

При работе системы на первом и втором диапазонах скоростей сначала подключается генератор 2 кВт, а затем генератор мощностью 4 кВт, при этом генератор мощностью 2 кВт отключается. Цикл системы при постепенном изменении скорости ветра 5...8,9...4,5 м/с представлен на рис 3.

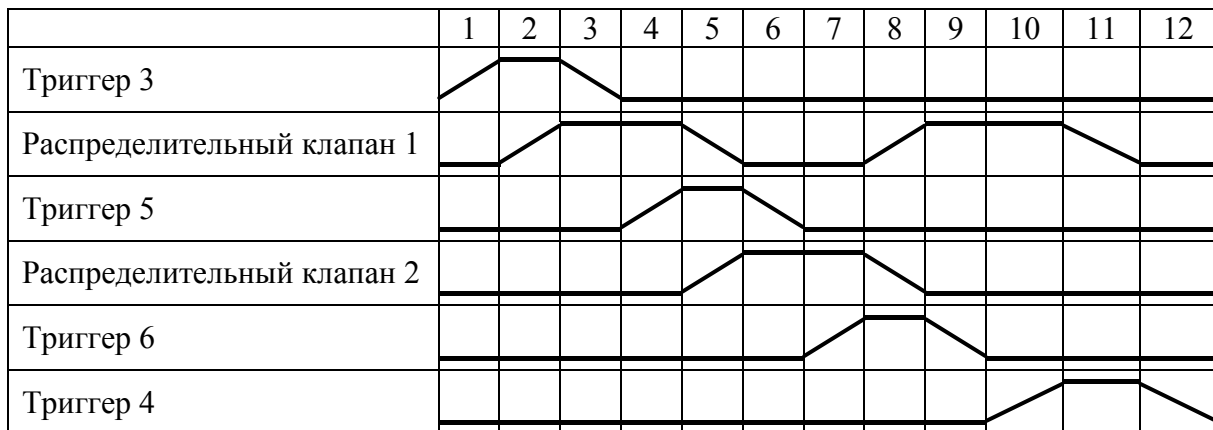


Рис.3. Циклограмма работы системы в диапазоне скоростей ветра 5...8,9 м/с.

При работе в трех диапазонах в систему при скорости больше 8,9 м/с одновременно подключаются генераторы мощностью 2 и 4 кВт. Работа системы по циклу изменения скорости 5...10...4,5 представлена на рис. 4. (подключение дополнительного насоса в систему в цикле не рассматривается).

Приведенный выше пример отбора мощности не учитывает то, что скорость ветрового потока может увеличиваться и понижаться в произвольном порядке. Поэтому система должна отслеживать эти изменения и, при переходе через контрольные значения скорости, подключать в работу тот или иной генератор. Для разработки системы управления по гибкому алгоритму применен функциональный граф работы системы (рис.5) [4]. Инверсные сигналы на графе обозначают выключение соответствующих элементов системы.

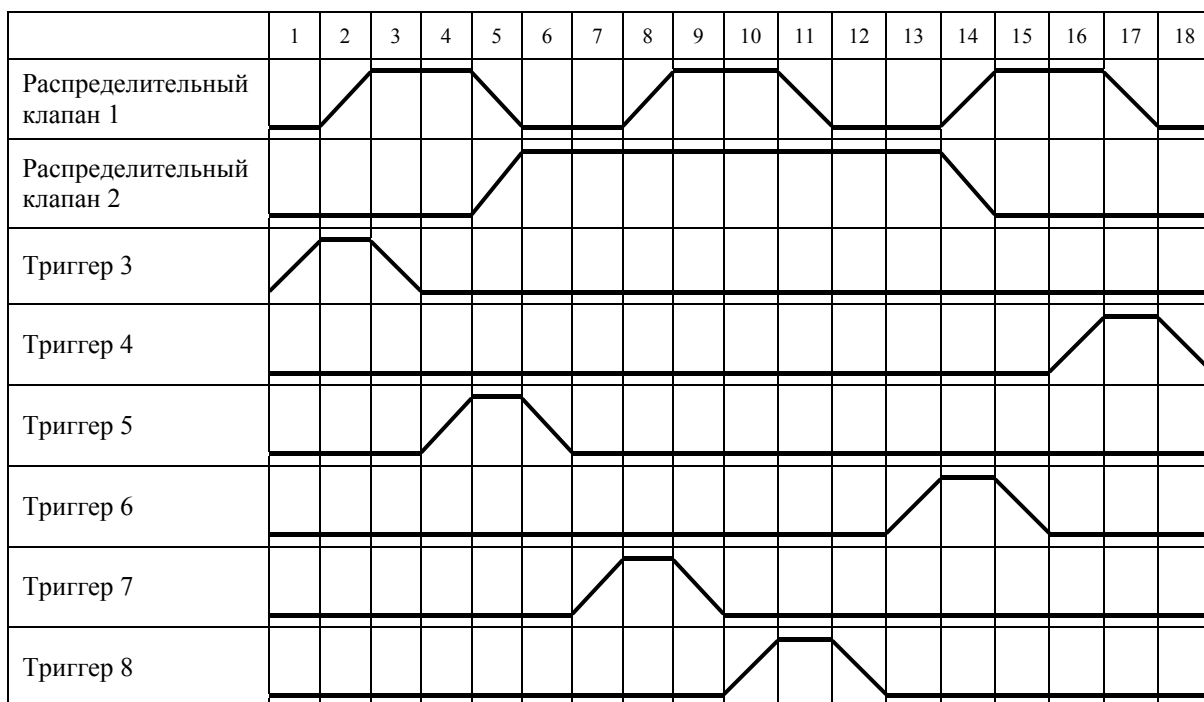


Рис.4. Циклограмма работы системы в диапазоне скоростей ветра 5...10 м/с.

Система начинает отбор мощности при появлении скорости ветра в диапазоне 5...6,8 м/с. Появление ветра и начало работы обозначено на графе точкой А. Работа системы при скорости ветра, которая выходит из этого диапазона, обозначена точкой Б. При этом возможен вариант либо повышения, либо понижения скорости. Точкой В обозначен переход, когда значение скорости выходит из второго условного диапазона скоростей 6,8...8,9 м/с. Как и в предыдущем случае, возможно повышение либо понижение скорости, в зависимости от чего включается элемент памяти 7 или 6 соответственно.

Составленный граф работы системы позволяет отрабатывать гибкий цикл в зависимости от изменений скорости ветра в заданном диапазоне. На основе графа в систему введены элементы памяти и построены логические команды управления приводами и устройствами системы:

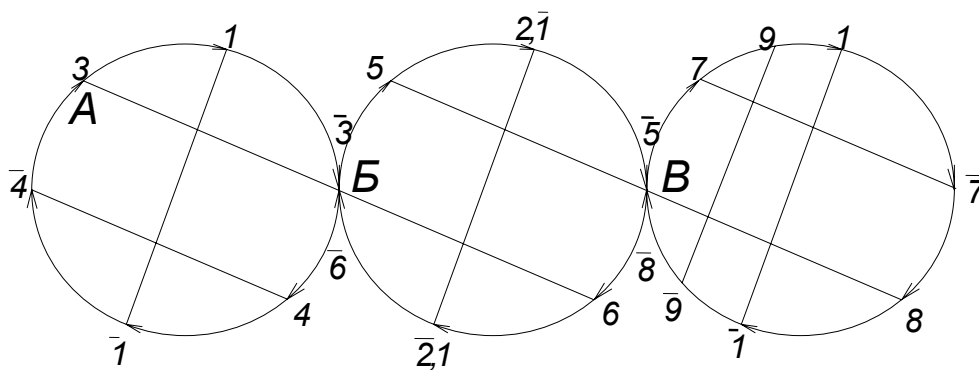


Рис.5. Функциональный граф гибкой работы системы:

1 – подключение генератора мощности 2 кВт; 2 – подключение генератора мощности 4 кВт; 3, 5, 7 – включение элементов памяти, которые фиксируют срабатывание датчика повышения давления; 4, 6, 8 – включение элементов памяти, которые фиксируют срабатывание датчика понижения давления; 9 – подключение дополнительного насоса.

$$\begin{aligned}
 Y_1 &\Leftarrow X_3 + X_6 + X_7 * X_9 & Y_{\bar{1}} &\Leftarrow X_4 + X_5 + X_8 \\
 Y_2 &\Leftarrow X_5 & Y_{\bar{2}} &\Leftarrow X_6 \\
 Y_3 &\Leftarrow X_{\bar{4}} * X_{\bar{1}} * X_{\text{Э}+} & Y_{\bar{3}} &\Leftarrow X_1 \\
 Y_4 &\Leftarrow X_{\bar{6}} * X_{\bar{3}} * X_1 * X_{\text{Э}-} & Y_{\bar{4}} &\Leftarrow X_{\bar{1}} \\
 Y_5 &\Leftarrow X_{\bar{3}} * X_{\bar{6}} * X_{\bar{2}} * X_1 * X_{\text{Э}+} & Y_{\bar{5}} &\Leftarrow X_2 * X_{\bar{1}} \\
 Y_6 &\Leftarrow X_{\bar{8}} * X_{\bar{5}} * X_2 * X_{\bar{1}} * X_{\text{Э}-} & Y_{\bar{6}} &\Leftarrow X_{\bar{2}} * X_1 \\
 Y_7 &\Leftarrow X_5 * X_{\bar{8}} * X_{\bar{1}} * X_{\text{Э}+} & Y_{\bar{7}} &\Leftarrow X_1 \\
 Y_8 &\Leftarrow X_{\bar{7}} * X_1 * X_{\text{Э}-} & Y_{\bar{8}} &\Leftarrow X_{\bar{9}} \\
 Y_9 &\Leftarrow X_7 & Y_{\bar{9}} &\Leftarrow X_{\bar{1}} * X_8
 \end{aligned}$$

В соответствии с логическими командами разработана электрорелейная схема системы управления (рис. 6.). Схема представляет собой цепочки электрорелейных контактов, подключенные к электромагнитам распределительных клапанов исполнительных устройств. В схеме предусмотрены реле времени (цепь 5 и 11), которые позволяют системе не реагировать на кратковременные изменения скорости ветра.

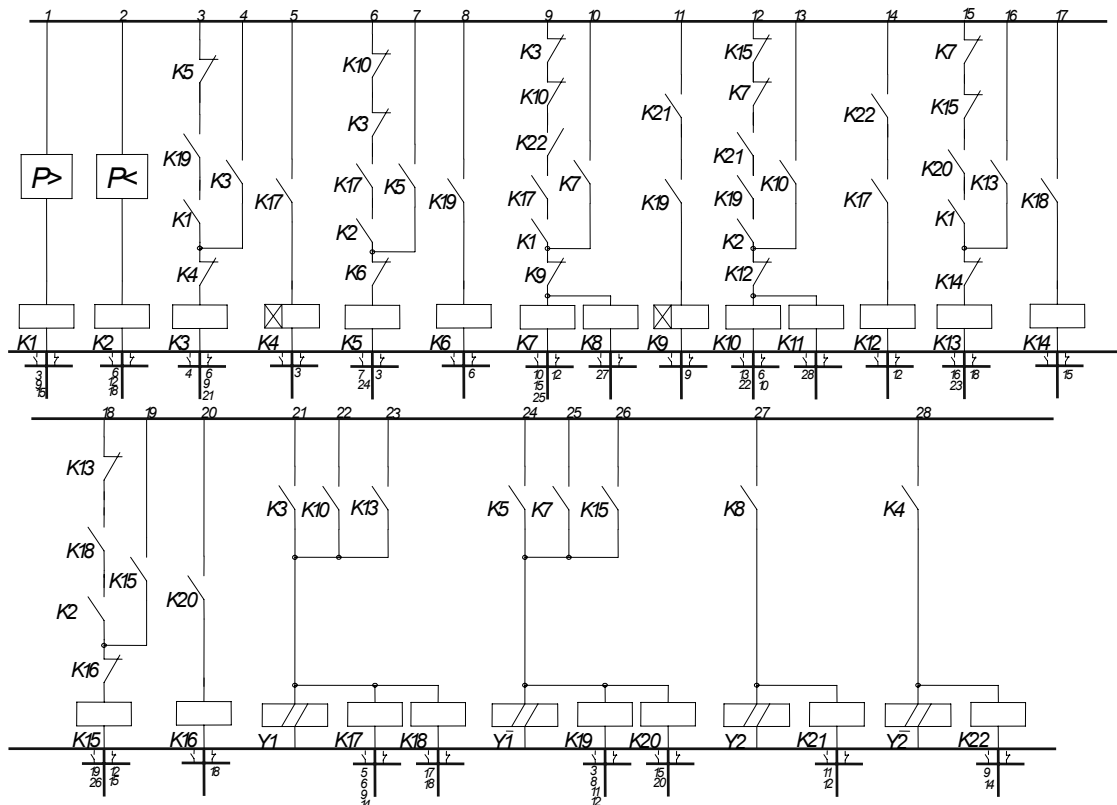


Рис.6. Электрорелейная схема системы управления

Для предварительной оценки эффективности работы системы построена зависимость мощности воздушного потока от скорости ветра. Сопоставив эту зависимость с количеством энергии, отбираемым при работе генераторов различной мощности (рис.7), можно сделать первоначальные выводы.

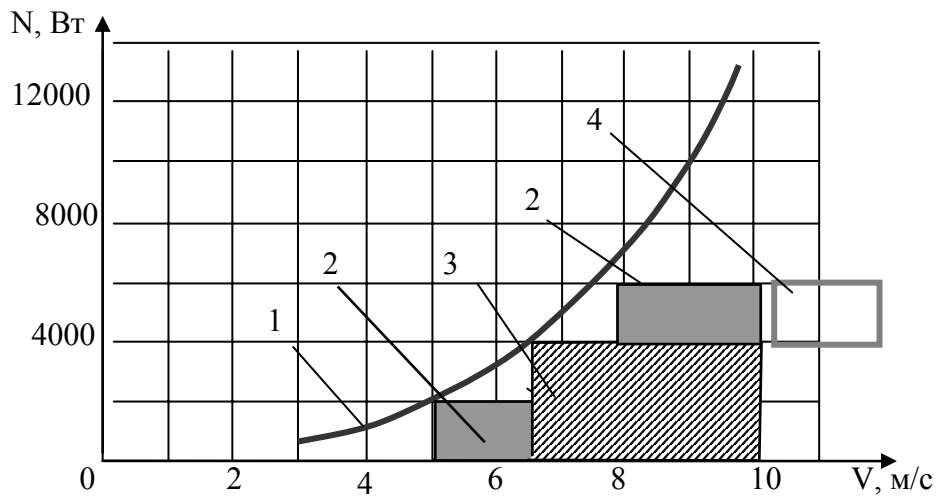


Рис.7. Характеристика изменения мощности ветродвигателя и энергогенерирующих устройств при увеличении скорости ветра:

1 – мощность воздушного потока; 2 – работа генератора мощностью 2 кВт; 3 – работа генератора мощностью 4 кВт; 4 – работа генератора мощностью 6 кВт для схемы ВЭУ без согласования параметров.

При наличии в системе одного генератора с постоянной мощностью, например, 4 кВт, ВЭУ будет работать лишь в узком диапазоне изменения скоростей ветра (6,3...10 м/с) [1]. При этом получение максимальной мощности возможно только при скорости 6,8 м/с. С увеличением скорости процент отбираемой мощности снижается и при скорости 10 м/с составляет только 26% от максимально возможного. Поэтому использование такой системы не исчерпывает резервы повышения мощности.

Использование отдельного генератора мощностью 6 кВт возможно только при скорости ветра более 10,3 м/с, а такое значение на территории Украины встречается редко. Однако при использовании в системе двух генераторов мощностью 2 и 4 кВт количество отбираемой энергии будет составлять 65%. При этом диапазон рабочих скоростей охватывает интервал от 5 до 10 м/с и начиная с 8,9 м/с будет вырабатываться мощность 6 кВт.

### **Выводы**

В результате анализа ступенчатой адаптивной системы отбора мощности установлено, что ее применение в составе ВЭУ позволяет увеличить количество вырабатываемой за год энергии и расширить временной диапазон работы ветроагрегата. Отбор и перераспределение мощности производится с помощью гидравлической системы с гибким алгоритмом функционирования. Согласование рабочих параметров (давление, расход и отбираемая мощность) обеспечивается включением дополнительного насоса в циклограмму работы системы.

Используя схему ступенчатого отбора мощности для увеличения мощности в 2 раза требуется увеличение скорости воздушного потока в  $\sqrt[3]{2}$  раза. Это позволяет разрабатывать ВЭУ с несколькими расчетными значениями скорости ветра.

#### Список использованной литературы

1. Система автоматичного керування вітроенергетичною установкою / О.М. Яхно, В.К. Буслев, В.С. Лысенко, Т.Г. Таурит. - В кн.: Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия Технология в машиностроении. - Харьков: ХПИ, вып. 129, часть 2, 2001, с. 236-240.
2. Губарев А.П., Ганпанцурова О.С., Шульга В.В. – Повышение эффективности работы ветроагрегатов путем согласования звеньев цепи преобразования энергии / В кн.: Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. - №3 (109), ч. 1, 2007, с. 59-65.
3. Яхно О.М., Таурит Т.Г., Грабар И.Г. Ветроэнергетика: конструирование и расчет ВЭУ: Учебное пособие. – Житомир: ЖГТУ, 2002. – 115 с.
4. Губарев А.П. Дискретно-логическое управление в системах гидропневмоавтоматики.- К.: ИСМО, 1997.-224с.

УДК 621.7.621.9

**В.Л. Калюжний канд.техн.наук. доц., О.В. Калюжний асс., О.Л. Іващенко студ.  
НТУ України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна**

### **РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛІ «КУЛЬКА» ДЛЯ КУЛЬКОВИХ КРАНІВ МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.**

---

*В статье рассмотрены два способа изготовления заготовок к детали «шарик» для шаровых кранов методами ХОШ, влияние степени деформации на силовые режимы методов, относительные усилия и качество изделий при холодном выдавливании.*

*In article consider two ways of manufacturing of preparations to a detail "ball" by cold press forming methods, influence of a degree of deformations on force modes of methods, relative efforts and quality of products at cold expressions.*

---

В теперішній час деталі „Кулька” для кулькових кранів виготовляють в основному методами різання. Ці методи вимагають значних витрат матеріалів, а проблеми економії коштів на сучасному виробництві стоять дуже гостро. Процеси холодного об’ємного штампування (ХОШ) дозволяють отримувати вироби з високою точністю, суттєвою економією матеріалів, а також відкриваються можливості, завдяки зміцненню при холодній формозміні, заміни марки матеріалу на більш дешеві без зміни службових властивостей виробів.