

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВОК И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

**Уришев Б.У.,
Куватов У.Ж.,
Умиров А.П.**

Каршинский инженерно-экономический институт,

Карши, Узбекистан

e-mail: bob_urishev@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В докладе приводятся сведения об использовании гибридной энергетической системы на базе ветро- и фотоэнергетической установки с гидравлическим способом аккумуляции энергии, предложена методика определения наиболее выгодного сочетания мощностей задействованных энергоустановок при гидравлическом аккумуляции энергии по минимуму приведенных затрат рассматриваемых вариантов.

***Ключевые слова:** фотоэнергетическая установка, ветроэнергетическая установка, гидравлическое аккумуляция энергии, мощность, приведенные затраты.*

SELECTION OF PARAMETERS OF SOLAR AND WIND POWER INSTALLATIONS ON THE BASIS OF HYDRAULIC ENERGY STORAGE

ABSTRACT

The report provides information on the use of a hybrid energy system based on a wind and photovoltaic installation with a hydraulic method of energy storage, a method for determining the most advantageous combination of capacities of involved power plants for hydraulic energy storage at a minimum of the reduced costs of the options considered is proposed.

***Key words:** photovoltaic installation, wind energy installation, hydraulic energy storage, power, reduced costs.*

В последнее время в мировой энергетике активно используются микрогриды (микросети) - относительно небольшие по размерам энергообеспечивающие системы, действующие в рамках четко определенных границ для генерации, аккумуляции, передачи и распределения, преимущественно, возобновляемой энергии. В данных системах эффективное

использование возобновляемых источников невозможно без аккумулирования энергии, так как характер ее поступления из этих источников является быстро изменяющимся [1,2]. В настоящее время в микрогридах для аккумулирования энергии чаще всего применяются электрохимические и другие аккумулирующие энергии системы, которые не могут обеспечить большие объемы накопления энергии и имеют высокие затраты [3,4].

В связи с этим, для небольших энергосистем мощностью до 1 МВт нам представляется целесообразным использовать гибридную систему, состоящей из энергетических установок, вырабатывающих электрическую энергию, нижнего и верхнего водоемов, аккумулирующих гидравлическую энергию и насосной установки для перекачки воды из нижнего в верхний водоем (рис. 1).

Данная система может потреблять избыточную энергию ветро- и фото энергетических установок (ВЭУ и ФЭУ) в часы минимальных нагрузок (для питания насосов, перекачивающих воду из нижнего водоема в верхний) и выдавать ее в энергосистему в часы максимальных нагрузок (путем подачи воды к гидротурбинам из верхнего водоема). Данная схема гидравлического аккумулирования энергии (ГАЭ) будет целесообразной и весьма эффективной, даже при малых значениях напора и количества воды.

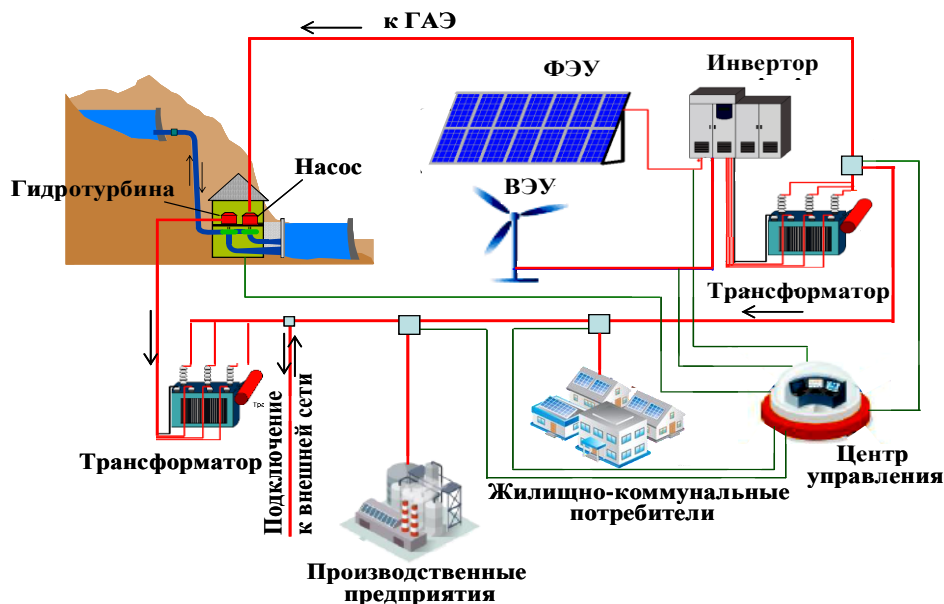


Рис. 1. Схема гибридной системы ВЭУ, ФЭУ гидроаккумулированием энергии

График режима работы комплекса ГАЭ, ВЭУ и ФЭУ приведен на рис. 2.

График $(N_{ВЭУ}+N_{ФЭУ})=f(t)$ получен путем сложения значений мощностей ФЭУ и ВЭУ по вертикали в моменты времени t . Данный график характеризует суммарную мощность ФЭУ и ВЭУ в промежутке времени от t_2 до t_3 . При этом согласно балансу энергии в данной системе должно соблюдаться следующее условие

$$\mathcal{E}_p \cdot \eta_{ГАЭ} = \int_{t_0}^{t_5} P(t)dt = \int_{t_0}^{t_2} N_{ВЭУ}(t)dt + \int_{t_3}^{t_5} N_{ВЭУ}(t)dt + \int_{t_2}^{t_3} (N_{ВЭУ} + N_{ФЭУ})(t)dt \quad (1)$$

где, $\eta_{ГАЭ}$ – КПД ГАЭ, $P(t)$ – потребляемая мощность

Сумма разницы мощности $N_{ВЭУ}$ и суточной нагрузки P в промежутках времени от t_0 до t_1 и от t_4 до t_5 используется для питания насосной установки, которая обеспечивает накопление объема воды в верхнем водоеме. Данный объем воды используется гидроэнергетической установкой (ГЭУ) для выработки энергии, необходимой для покрытия графика суточной нагрузки в промежутке времени от t_2 до t_4 .

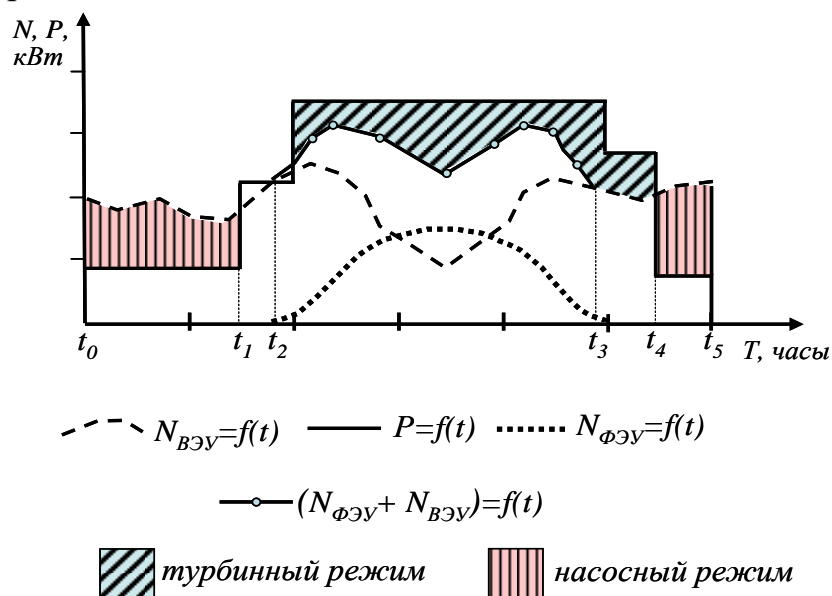


Рис. 2. График режима работы ФЭУ и ВЭУ с гидроаккумуляцией энергии

Определение $N_{ВЭУ}$ и $N_{ФЭУ}$ является важной задачей, поэтому для ее решения необходимо учитывать экономические аспекты, так как эффективность работы и рентабельность комплекса зависят от выбранных

значений $N_{ВЭУ}$ и $N_{ФЭУ}$, т.е. от надежности и экономичности покрытия суточной нагрузки суммарной энергией данных установок.

Согласно графику суточной нагрузки (рис. 1) обеспечение необходимой энергией осуществляется тремя установками

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E}_{ВЭУ} + \mathcal{E}_{ФЭУ} + \mathcal{E}_{ГЭУ} \quad (2)$$

Степень участия ГЭУ в покрытии суточной нагрузки с учетом аккумуляирования энергии, как правило, в таких системах составляет 15...30 %. Остальная нагрузка должна распределяться между установками ВЭУ и ФЭУ с учетом местных условий прихода энергии. Для определения оптимального сочетания степени участия установок в покрытии графика суточной нагрузки используем следующую процедуру определения их мощностей, основанную на предварительные сравнительные экономические оценки.

Определяем суточную выработку энергии с учетом степени участия установок в выработке энергии.

$$\mathcal{E}_p = K_{li} \mathcal{E}_p + (1 - K_{li}) \mathcal{E}_p \quad (3)$$

где $K_{li} \mathcal{E}_p$ – доля выработки энергии ВЭУ и ФЭУ, $(1 - K_{li}) \mathcal{E}_p$ – доля выработки энергии ГЭУ, K_{li} – коэффициент нагрузки ВЭУ + ФЭУ, $i = 1, 2, \dots, n$ – количество сравниваемых вариантов

$$\mathcal{E}_p K_{li} = N_{ВЭУi}^{cp} t_{ВЭУi} + N_{ФЭУi}^{cp} t_{ФЭУi} \quad (4)$$

$t_{ВЭУi}$, $t_{ФЭУi}$ – продолжительность работы ВЭУ и ФЭУ.

Отсюда средние значения мощности можно определить следующим образом

$$N_{ВЭУi}^{cp} = \frac{K_{li} \cdot K_{2i} \cdot \mathcal{E}_p}{t_{ВЭУi}} \quad N_{ФЭУi}^{cp} = \frac{K_{li} (1 - K_{2i}) \cdot \mathcal{E}_p}{t_{ФЭУi}} \quad (5)$$

где, K_{2i} - коэффициент нагрузки ВЭУ

Аналогично можно определить мощность ГЭУ, и соответственно ГАЭ

$$N_{ГЭУi}^{cp} = \frac{(1 - K_{li}) \cdot \mathcal{E}_p}{t_{ГЭУi}} \quad (6)$$

Оптимальное сочетание использования мощностей из рассмотренных n вариантов может быть получено на основе нижеприведенного критерия

$$Z_i = I_i + \lambda \cdot C_i \rightarrow \min \quad (7)$$

Z_i – приведенные затраты, I_i – годовые эксплуатационные затраты, C_i – капитальные вложения, λ – размер банковской ставки или дисконта.

C_i и I_i определяется на основе удельных параметров

$$C_i = \alpha_{BЭУ} \cdot N_{BЭУi}^{cp} + \alpha_{ФЭУ} \cdot N_{ФЭУi}^{cp} + \alpha_{ГЭУ} \cdot N_{ГЭУi}^{cp} + \alpha_{ГЛЭ} \cdot N_{ГЛЭi}^{cp} \quad (8)$$

$$I_i = \beta_{BЭУ} \cdot C_{BЭУi} + \beta_{ФЭУ} \cdot C_{ФЭУi} + \beta_{ГЭУ} \cdot C_{ГЭУi} + \beta_{ГЛЭ} \cdot C_{ГЛЭi}^{cp}$$

где α – удельная стоимость мощности, β – удельные эксплуатационные затраты

Таким образом, оптимальный вариант сочетания мощностей энергоустановок, который удовлетворяет критерий (7) и потребляемую мощность $P(t)$ в течение суток, будет основой для технико – экономического обоснования параметров предлагаемого комплекса.

Приводим результатов расчета определения оптимального варианта сочетания мощностей энергоустановок, задействованных в энергообеспечении микросети мощностью 500 кВт с годовой выработкой энергии 4320 МВт·час. Принимаем в качестве базового условия $K_1 = 0,7$. В расчетах рассмотрены 7 вариантов с различными значениями K_2 от 0,2 до 0,8. В качестве удельных параметров стоимости α приняты: $\alpha_{BЭУ} = 1800$ \$ /кВт, $\alpha_{ФЭУ} = 2000$ \$ /кВт, $\alpha_{ГЭУ} = 1300$ \$ /кВт, $\alpha_{ГЛЭ} = 1600$ \$ /кВт.

Удельные эксплуатационные затраты β были приняты в соответствии с действующими нормативами, а величина банковской ставки принята в размере 0,15. Значения $N_{BЭУi}^{cp}$ и $N_{ФЭУi}^{cp}$ в расчетах изменялись в пределах 70...280 кВт, а $N_{ГЭУi}^{cp}$ в пределах 128...148 кВт. Продолжительность работы энергоустановок были приняты в зависимости от графика нагрузки микросети, выбранного для данных расчетов, а также от актинометрических данных.

Результаты расчета показали, что вариант с $N_{BЭУi}^{cp} = 174$ кВт, $N_{ФЭУi}^{cp} = 188$ кВт, $N_{ГЭУi}^{cp} = 138$ кВт согласно (7) оказался наивыгоднейшим.

REFERENCES

1. Mukhammadiev M.M., Urishev B. *Gidroakkumuliruyushie ehlektrostantsii*, [Pumped storage power plants] Tashkent: «Fan va tekhnologiya», 2018, 212 str.
2. B. Urishev. “Microgrid control based on the use and storage of renewable energy sources”, *Applied Solar Energy*, Vol. 54, No. 5, pp. 388–391, 2018. DOI: 10.3103/S0003701X18050201.
3. Jeff St. John. Report: *Levelized Cost of Energy for Lithium-Ion Batteries Is Plummeting*. March, 2019. Available: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/report-levelized-cost-of-energy-for-lithium-ion-batteries-bnef> [Accessed: May 5, 2020].
4. B. Urishev. “Decentralized energy systems, based on renewable energy sources”, *Applied Solar Energy*, Vol. 55, No. 3, pp. 207–212, 2019. DOI: 10.3103/S0003701X19030101.