



**С. В. ЕВДОКИМОВ**  
**Н. В. БЕКИН**

### АНАЛИЗ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА АККУМУЛИРУЮЩЕГО ВОДОЕМА ДЛЯ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА В СОСТАВЕ ВЭС–ГАЭС

ANALYSIS OF THE METHOD OF DETERMINING THE OPTIMAL VOLUME OF  
THE STORAGE RESERVOIR FOR THE POWER COMPLEX AS PART OF THE WES-PSPP

*Рассмотрены особенности использования энергокомплексов в составе ВЭС–ГАЭС. Отмечено, что наиболее актуальным и перспективным будет использование таких энергокомплексов в экологически неблагоприятных регионах, не относящихся к первоочередным по освоению ветровой энергетики. Однако широкое распространение энергокомплексы в составе ВЭС–ГАЭС в настоящее время не получили, одной из причин является отсутствие методов расчета оптимальных параметров энергокомплексов, к которым следует отнести расчеты по определению объема аккумулирующего водохранилища энергокомплекса. В результате решения задач с использованием анализа методов экономической эффективности, методов экологического обоснования для автономных систем электроснабжения была разработана методика по определению оптимального объема аккумулирующего водоема для энергокомплекса в составе ВЭС–ГАЭС, основные положения которой изложены в данной статье. Представленная методика позволяет выбрать наиболее рациональное расположение и очертание аккумулирующего водоема на местности, вписать контур водоема в естественно-природные условия, а также оптимизировать соотношение его глубины сработки и площади поперечного сечения.*

**Ключевые слова:** объем аккумулирующего водоема, ветровые затишья, энергокомплекс в составе ВЭС–ГАЭС, концентратор потока, гидроагрегат

*The article considers the peculiarities of using energy complexes as part of the WPP-PSPP. It is noted that the most relevant and promising will be the use of such energy complexes in environmentally unfavorable regions that are not among the priorities for the development of wind energy. However, the energy complexes as part of the WPP-PSPP are not currently widespread, one of the reasons is the lack of methods for calculating the optimal parameters of the energy complexes, which should include calculations to determine the volume of the storage reservoir of the energy complex. As a result of solving problems using the analysis of methods of economic efficiency, methods of ecological justification for autonomous power supply systems, a methodology was developed to determine the optimal volume of the storage reservoir for the energy complex as part of the WPP-PSPP, the main provisions of which are described in this article. The presented methodology allows you to choose the most rational location and shape of the accumulating reservoir on the ground, to fit the outline of the reservoir into natural conditions, as well as to optimize the ratio of its depth of work and cross-sectional area.*

**Keywords:** volume of accumulating reservoir, wind lull, power complex as a part of WPP-PSPP, a flow concentrator, hydrounit

В настоящее время весьма актуальным, в условиях значительного роста цен на традиционные энергоносители, а также ежегодно ухуд-

шающейся экологической ситуации в мире, является использование возобновляемой энергии посредством комплексного использования

гидроаккумулирующей и ветровой энергии на базе энергокомплексов. Особенно перспективным и актуальным будет использование в экологически неблагоприятных регионах энергокомплексов, включающих как гидроаккумулирующую, так и ветровую энергоустановку. Такие комбинированные энергетические станции получили название энергокомплексов в составе ВЭС–ГАЭС [1, 2].

Особенностью использования таких энергокомплексов является то, что они могут быть построены в экологически неблагоприятных регионах, не относящихся к первоочередным по освоению ветровой энергетики. Широкое распространение энергокомплексы в составе ВЭС–ГАЭС в настоящее время не получили, и на то есть ряд объективных причин. Первое – это отсутствие методов по обоснованию экономической эффективности энергокомплексов, использующих возобновляемые источники энергии. Второе – недостаточно изучены методы расчета оптимальных параметров энергокомплексов, к которым следует отнести расчеты по определению объема аккумулирующего водохранилища энергокомплекса. Третье – влияние комбинированных энергоустановок на окружающую природную среду является не изученным в том объеме, в котором требуется принятие проектных и технических решений по первоочередному использованию энергоустановок такого типа.

На кафедре природоохранного и гидротехнического строительства Самарского государственного технического университета исследования, проводимые, в свое время, профессором, д.т.н. М.И. Бальзанниковым, сформировали достаточный научный задел, позволяющий решить одну из главных задач, связанных с эффективным использованием энергокомплексов в составе ВЭС–ГАЭС. И этой задачей является определение оптимального объема аккумулирующего водоема для энергетического комплекса. Решение данной задачи с использованием анализа методов экономической эффективности, методов экологического обоснования для автономных систем электроснабжения, к которым можно отнести и энергокомплексы в составе ВЭС–ГАЭС, будет являться крайне своевременной и актуальной. Расчеты по определению оптимальных параметров сооружений энергокомплексов в составе ВЭС–ГАЭС, рационального размещения сооружений, сопутствующие расчеты по определению оптимального местоположения аккумулирующего водоема, с учетом экономических, экологических условий, условий динамики местного инвестирования, – в конечном итоге позволят разработать рекомендации по проектированию и строительству в конкретных

условиях энергокомплексов подобного рода [3]. Кроме этого, данные методы и расчеты позволят повысить конкурентоспособность комбинированных энергоустановок по сравнению с традиционными типами.

Основной задачей ГАЭС в совместной работе энергокомплекса является выработка электрической энергии в периоды простоя ВЭС из-за ветровых затиший, и это позволяет сделать вывод о том, что непосредственно рабочие характеристики ВЭС и сам тип ветрового агрегата влияют на выбор оптимального объема аккумулирующего водоема ГАЭС. Оптимальный объем водохранилища должен обеспечивать работу ГАЭС в турбинном режиме в период ветровых затиший. Последние, в свою очередь, зависят от местоположения энергокомплекса, от частоты появления и продолжительности. Эти характеристики ВЭС, а именно их интегральные составляющие были получены для условий Самарской области с помощью разработанной на кафедре природоохранного и гидротехнического строительства профессором М.И. Бальзанниковым программы «VET». Результаты расчета были обработаны и представлены в виде графиков.

Если ввести допущение, что продолжительность ветровых затиший является величиной непрерывной, то полезный объем аккумулирующего водоема энергокомплекса, необходимый для обеспечения работы ГАЭС в турбинном режиме, будет определяться формулой

$$V_{II} = \frac{36, N_T T_3}{H_T \eta},$$

где  $N_T$  – мощность гидравлической турбины;  $T_3$  – расчетная продолжительность непрерывного затишья ветра;  $H_T$  – расчетный напор турбинного режима;  $\eta$  – КПД агрегата в турбинном режиме.

Как показали исследования, наиболее длительные непрерывные энергетические затишья имеют очень малую вероятность и повторяемость. В связи с этим нецелесообразно проектировать водоемы ГАЭС с максимальным объемом, позволяющим обеспечивать потребителя электроэнергией со 100 %-й обеспеченностью [4]. В редких случаях необеспечения энергией экономически выгоднее выплачивать потребителю штраф.

На кафедре природоохранного и гидротехнического строительства СамГТУ выполнены многочисленные исследования влияния величины ставки штрафа на выбор полезного объема. Проводились аналитические расчеты при различных мощностях и сочетаниях состава основных объектов энергокомплекса ГАЭС–ВЭС. В частности, рассматривались варианты ветро-

агрегатов как с концентраторами ветрового потока, так и без них.

Так, графические расчеты изменения дисконтированной стоимости затрат по водоему и выплачиваемых штрафов за невыданную электроэнергию при варьировании расчетной продолжительностью энергетических затиший, а следовательно, полезным объемом водоема для варианта энергокомплекса ГАЭС–ВЭС с ветроагрегатами АВЭ-250 показали следующее. Если в энергокомплексе ветроагрегат используется без концентраторов потока, то оптимальная расчетная продолжительность непрерывного энергетического затишья, на которую экономически целесообразно предусмотреть объем аккумулирующего водоема, составит 42 часа. Однако если применять концентраторы ветрового потока, то величина эта может быть снижена до 12 часов, при этом стоимость штрафов и затраты на возведение водоема сократятся в два раза [5, 6].

Аналогичные результаты были получены и в других вариантах. Таким образом, использование новых конструкций ВЭС не только увеличивает выработку электроэнергии, но и уменьшает объем невыданной энергии потребителю и сокращает затраты по аккумулирующему водоему. Кроме этого, применение концентраторов обеспечивает снижение платы за земельные ресурсы, необходимые для ее отвода под водоем.

В качестве приложения разработанных методик были рассмотрены многочисленные варианты размещения энергокомплексов ГАЭС–ВЭС и определены их параметры. Ниже приводятся некоторые из полученных результатов.

Рассмотрим работу энергокомплекса ГАЭС–ВЭС по схеме, когда электроснабжение идет только от ГАЭС. График суточной нагрузки зададим в соответствии с таблицей.

Пример осредненных данных графика суточной нагрузки

Интервалы времени, ч	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10 – 12
Нагрузка, МВт	0,2	0	0,2	0,6	1,4	1,6
Интервалы времени, ч	12 – 14	14 – 16	16 – 18	18 – 20	20 – 22	22 – 24
Нагрузка, МВт	1	2	2,5	2	1,1	0,6

Исходя из этих данных, сделан вывод, что установленная мощность турбин на ГАЭС должна быть 2,5 МВт. Средняя суточная нагрузка составит 1,1 МВт, следовательно, для расчетного периода в три месяца объем потребления энергии составит 2,4 млн. кВт·ч. Тогда при  $\eta_d = 0,74$  выработка на ВЭС должна составлять 3,24 млн. кВт·ч.

Если для электрообеспечения использовать ветроагрегаты АВЭ-250 с концентраторами, то выработка энергии одним ВЭА будет равна 0,33 млн. кВт·ч. Следовательно, потребуется 10 агрегатов. Таким образом, общая установленная мощность ВЭС будет равна 2,5 МВт.

При требовании потребителя обеспечивать его энергией с обеспеченностью 99 % расчетная продолжительность затиший составит 73 часа, которой при напоре 260 м будет соответствовать полезный объем водоема 340 тыс. м<sup>3</sup>. Его энергетический эквивалент составляет 0,2 млн. кВт·ч. Если обеспеченность снизить до 94 %, то объем водоема уменьшится до 60 тыс. м<sup>3</sup>.

Рассмотрим работу ГАЭС–ВЭС по схеме, когда ВЭС может непосредственно обеспечивать энергией потребителя при наличии ветра. Тогда ГАЭС выдает энергию только в часы энергетических затиший. При соотношении поставляемой энергии 4 : 1, например 1,9 млн. кВт·ч и 0,5 млн. кВт·ч, необходимая выработка

на ВЭС составит 2,6 млн. кВт·ч при том же значении КПД аккумулирования. Тогда потребуется 8 агрегатов АВЭ-250.

**Вывод.** Представленная методика, помимо определения оптимального объема, позволяет выбирать наиболее рациональное расположение и очертание аккумулирующего водоема на местности, вписывать контур водоема в естественно-природные условия, а также оптимизировать соотношение его глубины сработки и площади поперечного сечения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бальзанников М.И., Елистратов В.В. Возобновляемые источники энергии. Аспекты комплексного использования. Самара: ООО «Офорт», 2008. 331 с.
2. Бальзанников М.И. Решение проблем развития энергетики на основе возобновляемых источников энергии в Среднем Поволжье // Научная школа академика Ю.С. Васильева в области энергетики и охраны окружающей среды: сб. науч. тр. СПб.: СПбГПУ, 2004. С. 25–39.
3. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В. Обоснование местоположения аккумулирующего водоема энергокомплекса в составе гидроаккумулирующей и ветроэнергетической электростанций // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сб. ст. / СГАСУ. Самара, 2015. С. 184–187.

4. Романов А.А. Жигулевская ГЭС. Эксплуатация гидротехнических сооружений. Самара: Издательский дом «Агни», 2010. 360 с. Кн. I.

5. Васильев Ю.С., Кубышкин Л.И. О технологии проектирования объектов гидроэнергетики // Гидротехническое строительство. 2014. № 7. С. 2–8.

6. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. СПб.: Наука, 2013. 308 с. Изд. 2-е, доп.

5. Vasil'ev Yu.S., Kubyshkin L.I. On the design technology of hydropower facilities. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical construction], 2014, no. 7, pp. 2–8. (In Russian)

6. Elistratov V.V. *Vozobnovlyаемая энергетика* [Renewable energy]. St. Petersburg, Nauka. 308 p. Izd. 2, dop.

## REFERENCES

1. Bal'zannikov M.I., Elistratov V.V. *Vozobnovlyаемые источники энергии. Аспекты комплексного использования* [Renewable energy. Aspects of Integrated Use]. Samara, Ofort, 2008. 331 p.

2. Bal'zannikov M.I. Solving problems of energy development based on renewable energy sources in the Middle Volga region. *Nauchnaya shkola akademika Yu.S. Vasil'eva v oblasti energetiki i okhrany okruzhayushchey sredy* [Scientific school of academician Yu.S. Vasiliev in the field of energy and environmental protection]. St. Petersburg, 2004, pp. 25–39. (In Russian)

3. Bal'zannikov M.I., Evdokimov S.V. Substantiation of the location of the storage reservoir of the energy complex as part of the hydraulic storage and wind power plants. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'stvo* [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction]. SGASU. Samara, 2015, pp. 184–187. (In Russian)

4. Romanov A.A. *Zhigulevskaya GES. Ekspluatatsiya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Zhigulevskaya hydroelectric station. Operation of hydraulic structures]. Samara, Agni, 2010. 360 p.

Об авторах:

### **ЕВДОКИМОВ Сергей Владимирович**

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой природоохранного и гидротехнического строительства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: sali5@mail.ru

### **Evdokimov Sergey V.**

PhD in Engineering Science, Head of the Nature Protection and Hydrotechnical Construction Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya St., 244 E-mail: sali5@mail.ru

### **БЕКИН Николай Валерьевич**

начальник службы мониторинга оборудования и гидротехнических сооружений ПАО «РусГидро»–«Жигулевская ГЭС» 445350, Россия, Самарская область, г. Жигулевск, Московское шоссе, 2 E-mail: bekinnv@zhiges.rushydro.ru

### **Bekin Nikolai V.**

Head of the Monitoring Service of Equipment and Hydraulic Structures RusHydro-Zhigulevskaya HPP 445350, Russia, Samara region, Zhigulevsk, Moscow highway, 2 E-mail: bekinnv@zhiges.rushydro.ru

Для цитирования: Евдокимов С.В., Бекин Н.В. Анализ метода определения оптимального объема аккумулирующего водоема для энергокомплекса в составе ВЭС–ГАЭС // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 1. С. 87–90. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.11.

For citation: Evdokimov S.A., Bekin N.V. Analysis of the method of determining the optimal volume of the storage reservoir for the power complex as part of the WES-PSPP. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 1, Pp. 87–90. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.11.