

УДК 577.4

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧНОСТИ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ГЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОЦЕНОК

¹Курылева Л.В., ²Каблов В.Ф., ¹Голованчиков А.Б.

¹ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград;
²Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Волжский, e-mail: kablov@volpi.ru

Рассмотрена экологичность ГЭС с использованием интегральных оценок, учитывающих отклонение функционирования реального объекта от идеальных с точки зрения экологического воздействия на окружающую среду режимов эксплуатации. Экологичность ГЭС оценивалась на станциях с различными типами накоплениями воды в водохранилищах, равнинных и горных ГЭС. Учитывались следующие факторы: расход воды, глубина реки (русла), время течения воды от истока до устья, скорость и объем воды. Проведена оценка экологичности ГЭС с точки зрения суточных сбросов, необходимых для регулирования выработки энергии и пиковых нагрузок (в рабочем режиме и в период паводка). Согласно расчетным интегральным показателям показано, что преимуществом в эксплуатации с точки зрения экологичности обладают горные реки, по сравнению с равнинными. Рассчитана функция желательности Харрингтона работы ГЭС за сутки и за год, согласно которой суточные показатели соответствует критериям, при которых поддерживается необходимый с точки зрения экологичности режим сброса.

Ключевые слова: экологическая идеальность, интегральные экологические показатели, гидроэлектростанция, режимы эксплуатации

ASSESSING THE ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF OPERATING MODES FOR DIFFERENT TYPES OF HYDROPOWER STATIONS USING INTEGRAL EVALUATION CRITERIA

¹Kuryleva L.V., ²Kablov V.F., ¹Golovanchikov A.B.

¹Volgograd State Technical University, Volgograd;
²Volzhsy Polytechnical Institute (branch of Volgograd State Technical University),
Volzhsy, email: kablov@volpi.ru

The environmental friendliness of hydropower stations has been considered using integral evaluation criteria accounting for the deviation of actual operation from the ideal one in terms of the environmental impact of operating modes on the surrounding area. The environmental friendliness of hydropower stations has been evaluated for different types of water storage reservoirs, flatland and mountain power stations, taking into consideration such factors as river flow, river (channel) depth, river head-to-outlet flow time, water velocity and volume. The environmental friendliness of power stations has been evaluated in respect of daily discharges required for power generation and peak load control, both in the normal mode of operation and during the flood period. Based on the calculated integral values, it has been shown that mountainous rivers are operationally more environmentally friendly than flatland ones. The Harrington desirability function has been calculated for the daily and yearly operation cycles of power stations, leading to the conclusion that the criteria for the environmentally friendly discharge mode depend on the daily values.

Keywords: ecological ideality, integral environmental indicators, hydropower station, operation modes

Более чем 50-летний опыт эксплуатации каскада Волжских ГЭС приводит экологов к факту обнаружения возможных экологических минусов от воздействия этих крупных гидроэнергетических объектов на окружающую среду и заставляет искать различные способы оценки возможного экологического ущерба. Необходимо отметить, что низкая себестоимость электроэнергии равнинных ГЭС во многом объясняется недостаточным учетом экологических последствий их строительства и эксплуатации.

Целью исследований является оценка с точки зрения экологичности различных режимов эксплуатации ГЭС, выявление идеальных экологических показателей, связанных с особенностями накопления воды и регулирования суточных сбросов для регулирования выработки энергии и пиковых нагрузок.

Несмотря на очевидные плюсы ГЭС, связанные с использованием возобновляемых водных ресурсов, есть и существенные недостатки, присущие ГЭС на равнинных реках: затопление сельскохозяйственных угодий и поселений, разрушение и водная эрозия берегов, увеличение уровня подземных вод, резкое снижение рыбных ресурсов вплоть до исчезновения ценных пород (осетровых, белорыбицы).

Суточные сбросы разрушительно действуют на береговую линию и наносят большой ущерб нересту рыб. Колебания уровня воды в бьефах гидроузла в период нереста вызывают массовую гибель отложенной икры и вылупившихся личинок.

Чл.-корр. РАН, председатель научно-технического совета ОАО «РусГидро» М.П. Федоров отмечает, что такой рваный режим функционирования ГЭС вызывает неблаго-

приятные последствия для реки ниже по течению: осушение, изменение качества воды в условиях поступления загрязняющих веществ [1].

Согласно мероприятиям «Технической политики» ОАО «РусГидро» – на гидростанциях компании «обеспечивается применение современных и перспективных технических решений, предотвращающих негативное воздействие на окружающую среду. Гидротехнические сооружения объектов компании должны обеспечивать надежность и безопасность на всех стадиях жизненного цикла; минимальное воздействие на животный и растительный мир; режим попуска в нижний бьеф, минимально необходимый для обеспечения интересов водопользователей. Строительство и эксплуатация проводится в соответствии с системой экологического менеджмента в соответствии с требованиями международного стандарта ISO» [7].

Количественная оценка экологической идеальности функционирования ГЭС позволила бы более объективно оценить их воздействие на природную среду. Целесообразно ввести интегральные экологические показатели эксплуатации равнинных ГЭС.

Ранее нами были введены понятия идеальных экологических процессов, обеспечивающих на выходе концентрации и температуры выбрасываемых веществ, равных их естественным концентрациям и температурам в природе [4].

По аналогии будем считать процесс течения реки условно идеальным.

1. Основными показателями, давно используемыми для течения рек, являются расход q_v и среднее время течения воды τ от истока до устья. Зная длину реки l , несложно считается средняя скорость воды в реке

$$\vartheta = l/\tau \quad (1)$$

и объем воды в русле

$$V = q_v \tau. \quad (2)$$

Для рек с плотинами расход воды несколько уменьшается за счет увеличения площади S водной поверхности на водохранилищах.

Обозначим новый расход воды в реке q_{vm} и

$$d_q = \frac{q_{vm}}{q_v} < 1. \quad (3)$$

Объем воды увеличивается за счет ее накопления в водохранилищах и становится равным V_1 . Тогда обозначим

$$d_v = \frac{V_1}{V} > 1. \quad (4)$$

Если коэффициенты d_q и d_v равны 1, то есть, если бы мы научились получать энергию без накопления воды в водохранилищах и увеличения зеркала испарения со свободной поверхности, то процесс был бы идеальным. Такая модель ГЭС наиболее соответствует наплавной гидроэлектростанции, относящейся к категории бесплотинных ГЭС.

2. Другой интегральный параметр, учитывающий неидеальность экологического процесса и связанный со средним временем пребывания, или с учетом формул (2), (3) и (4)

$$d_\tau = \frac{V_1}{q_{v1}} \frac{q_v}{V} = \frac{d_v}{d_q}.$$

Несложно показать, что $d_\tau > d_v$.

Здесь хорошо видно преимущества ГЭС на горных реках, по сравнению с равнинными. Для последних поверхность водохранилищ в несколько раз больше. Поэтому коэффициент неидеальности по зеркалу поверхности и испарению $d_q \rightarrow 1$ и интегральный параметр неидеальности $d_\tau \approx d_v$.

По аналогии были рассчитаны интегральные показатели экологичности по средней глубине реки (русла), по скорости и объему воды [3].

На основании расчетов сделан общий вывод о преимуществе плотин ГЭС на горных реках, по сравнению с равнинными:

$$d_v = \frac{V_1}{V} > 1; \quad d_H = \frac{H_1}{H} > 1;$$

$$\begin{aligned} d_s &\approx 1 \\ d_b &\approx 1 \end{aligned} \Rightarrow d_{qv} \approx 1; \quad d_{qv} \approx 1$$

3. Особое значение имеет оценка экологичности ГЭС с точки зрения суточных сбросов для регулирования выработки энергии и пиковых нагрузок.

Рассмотрим воздействие режимов на примере Волжской ГЭС, которая входит в ОАО «РусГидро» и является крупнейшей гидроэлектростанцией Европы и Волжско-Камского каскада, покрывая пиковую часть графика нагрузки в ЕЭС России. Волжская ГЭС оборудована 22 гидроагрегатами различной мощности плюс один агрегат мощностью 11 МВт для питания собственных нужд ГЭС. Установленная мощность – 2592,5 МВт. Среднегодовая выработка электроэнергии составляет 11 100 млн кВт·ч [5].

В междуречье Волги и Ахтубы располагается заповедная зона – Волго-Ахтубинская пойма. В современных условиях

от хозяйственной деятельности человека во многом зависит нормальное состояние поймы. Огромный вред пойме наносят суточные колебания сброса. Волжская ГЭС работает на сглаживание нагрузок в энергосистеме России (т.н. регулирование частоты). Колебания сброса приводят к интенсивному размыванию берегов, особенно левого, пойменного берега Волги.

С точки зрения экологичности представляется интересным оценить реальный

и идеальный режим эксплуатации ГЭС на основании данных выработки электроэнергии.

Аналогично предложенным коэффициентам экологичности для ГЭС, указанным выше, коэффициент идеальности может быть рассчитан и с учетом пиковых нагрузок.

Рассмотрим в качестве примера сравнительный график среднесуточной выработки электроэнергии Волжской ГЭС в рабочем режиме и в период паводка.

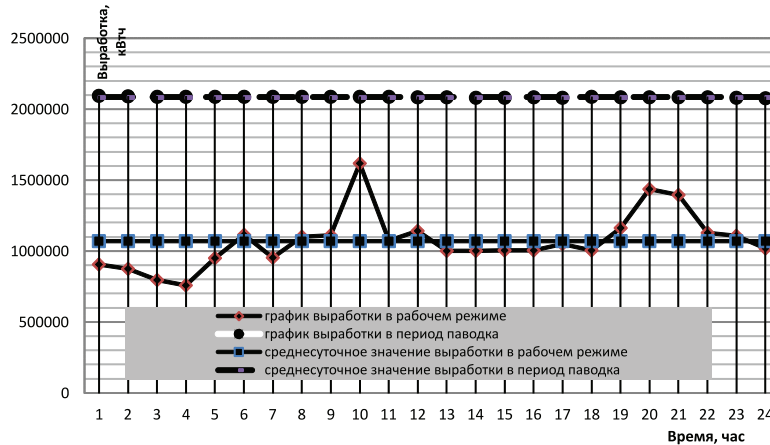


Рис. 1. Сравнительный график среднесуточной выработки электроэнергии Волжской ГЭС (в рабочем режиме и режиме паводка)

Как видно из рис. 1, в период паводка практически нет отклонений в режиме нагрузки и выработки электроэнергии, нет колебаний в виде «пиков» и «падений», поэтому процесс близок к идеальному.

Представляется интересным оценка экологичности ГЭС с точки зрения суточных сбросов, в случае, когда выработка электроэнергии идет в рабочем режиме с использованием значений качества выработки Волжской ГЭС за сутки в кВт·ч. Процедура вычисления статистических параметров приведена в таблице.

6. Для оценки идеальности работы агрегата используем коэффициент вариации V , который показывает разброс показателей, относительно среднего. Идеальная работа при $V \rightarrow V_{\min} \rightarrow 0$.

Количественно оцениваем коэффициент вариации V

$$V = \frac{S}{Y_{\text{cp}}}; \quad V = \frac{192860,1}{1071417} = 0,18, \text{ или } 18\%$$

Такое значение коэффициента V говорит о сравнительно удовлетворительном в статистическом отношении разброса показателей выработки электроэнергии и, соответственно, сброса воды в нижнем бьефе.

7. Для более наглядной оценки идеальности используем функцию желательности Харингтона для двухсторонних ограничений

$$d_i = \exp\left[-\left(|Y'_i|\right)^\alpha\right],$$

где Y'_i – безразмерный показатель желательности (5)

$$Y'_i = \frac{2Y_i - (Y_{\max} + Y_{\min})}{Y_{\max} - Y_{\min}},$$

где Y_i – экспериментальное значение показателя; Y_{\max} и Y_{\min} – максимальное и минимальное значение; $\alpha = 1$ (условно принимаем, что наблюдения равнозначны).

Рассчитаем значения показателей желательности для суточного рабочего режима работы гидроагрегатов (ГА).

Базовые величины шкалы желательности [2]:

- при $d \in]0,80; 1,00]$ – очень хорошее качество;
- при $d \in]0,63; 0,80]$ – хорошее;
- при $d \in [0,37; 0,63]$ – удовлетворительное;
- при $d \in]0,37; 0,20]$ – плохое

Статистические параметры суточной выработки
Волжской ГЭС в рабочем режиме (2011 г.)

№ п/п	Наименование параметра	Расчет	Значение параметра, кВт·ч
1	Среднее арифметическое	$Y_{cp} = \frac{\sum Y_i}{m}$	1071417
2	Дисперсия воспроизводимости	$S^2 = \frac{\sum (Y_i - Y_{cp})^2}{m - 1}$	37195033405
3	Среднеквадратичное отклонение	$S = \sqrt{S^2}$	192860,1
4	Доверительные интервалы для среднего	$B = Y_{cp} \pm \frac{tS}{\sqrt{m}},$ где t – критерий Стьюдента принимаем равным 2,07 (определяем при числе степеней свободы $\gamma = m - 1$ и уровне значимости $\alpha = 5\%$ (вероятность 95%) [6])	±81473
5	Нижний и верхний предел для дисперсии	$S_{экспер}^2 = \frac{mS^2}{\chi^2}$	
	Нижний предел для дисперсии	(при $m < 30$) Критерий χ выбирается при числе степеней свободы $\gamma = m - 1$ и $\alpha = 5\%$ для нижнего предела и $\alpha = 95\%$ – для верхнего предела, соответственно, χ для нижнего предела составляет 33,9; для верхнего предела – 13,1	776777787
	Верхний предел для дисперсии		52017994338

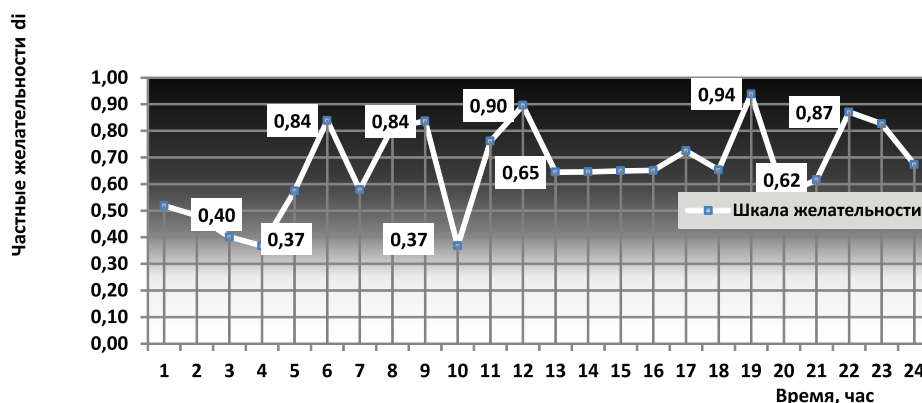


Рис. 2. Показатели желательности для суточного графика работы ГА Волжской ГЭС (в рабочем режиме)

При оценке шкалы желательности на рис. 2 воспользуемся базовыми величинами шкалы желательности. Рассчитаем обобщенную функцию желательности для ГЭС за сутки.

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdot d_n}$$

где d_i – частные функции желательности.

Расчетное значение $D = 0,64$, что согласно базовым величинам шкалы желательности соответствует показателю «хорошее». Зная график выработки Волжской ГЭС за 2011 год по месяцам [5] рассчитаем функцию желательности для работы ГЭС за год (рис. 3).

На основании сравнительных значений рис. 4 и базовых величин желательности, можно рассчитать обобщенную функцию желательности работы ГЭС за год:

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdot d_n}$$

где d_i – частные функции желательности за месяц; $D = 0,42$.

Расчетное значение $D = 0,42$, соответствует показателю «удовлетворительное». Наилучшее значение частного показателя желательности приходится на апрель (0,61), но и оно попадает в категорию «удовлетворительное».

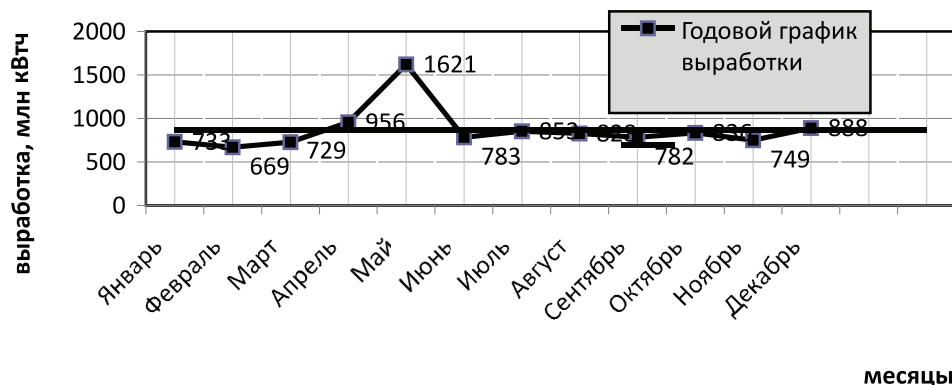


Рис. 3. График годовой выработки электроэнергии Волжской ГЭС за 2011 г.

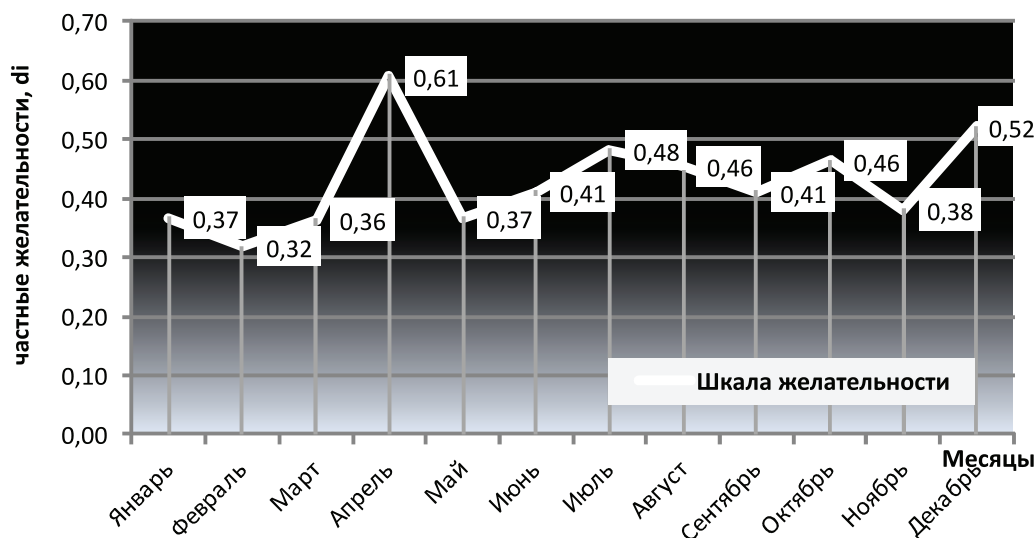


Рис. 4. Показатели желательности для годичного графика работы ГА Волжской ГЭС за 2011 г.

Расчетные показатели за год не соответствует тому базовому значению «хорошего качества», однако суточные показатели соответствуют этим критериям. В течение суток колебания сброса воды, несмотря на «пики», незначительны, в то время как в течении года амплитуды суммарных значений колебаний и в верхнем, и в нижнем бьефе огромны.

Таким образом, предложенные оценки экологичности ГЭС на станциях с различными накоплениями воды в водохранилищах, равнинных и горных ГЭС, а также с учетом суточных колебаний на ГЭС, работающих на погашение пиковых нагрузок, должны стремиться к значениям, при которых поддерживается необходимый экологический режим сброса, удовлетворяющий потребности в электроэнергии и поддерживающий природные комплексы в состоянии, близком к природному оптимуму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Институт важнее броненосца : беседа с чл.-корр. РАН М.П. Фёдоровым / М. П. Фёдоров; вел И. Имамудинов // Эксперт. – 2011. – № 10. – С. 46–52.

2. Каблов В.Ф., Агаянц И.М.. Информационные технологии в разработке и в производстве эластомерных материалов: монография. – Волгоград: ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2009.

3. Курылева Л.В., Голованчиков А.Б., Каблов В.Ф. Оценка экологичности ГЭС с использованием интегральных оценок // Оздоровление экологической обстановки в регионах Нижней Волги, восстановление и предотвращение деградации ее природных комплексов – составная часть программы «Возрождение Волги»: материалы Межрегиональной научно-практической конф. (Волгоград, 5 мая 2011 г.). – Волгоград, 2011 – 126 с.

4. Об идеальных и реальных экологических процессах и их количественной оценке / А.Б. Голованчиков, Л.В. Курылева, Т.А. Голованчикова, В.Л. Гончаренко // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2004. – Вып. 8. – С. 6–10.

5. Производственно-технический отчет Филиала ОАО «РусГидро» – «Волжская ГЭС» за 2011 год. – URL: <http://www.gidroogk.com> (дата обращения 26.03.2012).

6. Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Химия, 1980. – (серия «Химическая кибернетика») – 280 с.

7. Техническая политика ОАО «РусГидро» (Приложение 1 к Приказу ОАО «РусГидро» и ОАО «УК ГидроОГК» от 28.11.2011 № 1263/П-84 «О введении в действие Технической политики ОАО «РусГидро»).