

**М.И. БАЛЬЗАННИКОВ**

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТСАСЫВАЮЩИХ ТРУБ

THE INFLUENCE OF OPERATION CONDITIONS OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS THE CHOICE OF THE MAIN PARAMETERS OF THE SUCTION PIPES

*Рассматриваются русловые гидроэлектростанции (ГЭС). Отмечается важность выполнения технико-экономических расчетов при обосновании крупногабаритных элементов водопроводящего тракта этих типов ГЭС. Приведена методика экономического обоснования целесообразности увеличения длины отсасывающей трубы. С применением методики выполнены расчеты для низконапорной ГЭС руслового типа. Представлены результаты анализа влияния условий эксплуатации ГЭС на основные геометрические параметры отсасывающей трубы.*

**Ключевые слова:** гидроэлектростанция, отсасывающая труба, параметры отсасывающей трубы, обоснование параметров отсасывающей трубы.

Гидроэлектростанциям (ГЭС) принадлежит важная роль в обеспечении электроэнергией различных потребителей в пиковые периоды суточного графика нагрузки энергосистем, поскольку они обладают очень высокими маневренными качествами [1-4]. Вместе с тем, эти станции требуют значительных затрат на строительство, особенно при возведении русловых ГЭС на равнинных реках [5-7], а также оказывают существенное влияние на параметры состояния окружающей среды в составе гидроузла [8-10]. Для сокращения неоправданных расходов очень важно проводить тщательные исследования и технико-экономические расчеты по обоснованному назначению геометрических размеров крупногабаритных частей здания ГЭС [11-16], в том числе, элементов водопроводящего тракта [17-19]. При этом среди различных видов исследований важную роль играют экспериментальные исследования [20-24].

Отсасывающие трубы русловых зданий ГЭС сооружают в виде коленчатых устройств (рис. 1). Этим обеспечивается снижение объемов работ и финансовых затрат на их возведение.

Однако, как и для всех энергетических водопроводящих элементов, габариты отсасывающей

*Considered run-of-river hydropower plants (HPP). Notes the importance of technical-economic calculations in the justification of large water-conducting elements of the path these types of HPP. The methodology of economic substantiation of the expediency of increasing the length of the draft tube. Using the technique of the calculations for low-pressure hydroelectric run-of-river type. The results of the analysis of the influence of the operating conditions of the hydroelectric power station on basic geometrical parameters of draft tube.*

**Keywords:** hydroelectric power plant, suction pipe, suction pipe parameters, substantiation of the parameters of draft tube.

трубы влияют не только на стоимость строительных работ, но и на потери напора в них. Следовательно, они определяют коэффициент полезного действия гидравлической турбины и эффективность работы ГЭС в целом.

Автором выполнены исследования по выявлению влияния условий эксплуатации ГЭС на выбор основных параметров отсасывающих труб. В качестве основного параметра этих важнейших устройств принята длина отсасывающей трубы  $L$ .

Исследования выполнялись с применением метода общего интегрального эффекта. В соответствии с описанными условиями, изменение геометрических параметров в сторону их увеличения принималось экономически оправданным решением, если

$$\sum_{t=1}^T \left( \sum_{n=1}^m \Delta I_n \right)_t (1+i)^{F-t} \geq \sum_{t=1}^T \left( \sum_{n=1}^m \Delta P_n \right)_t (1+i)^{F-t}, \quad (1)$$

т.е. если сумма приведенных дополнительных доходов, связанных с увеличением размеров отсасывающей трубы за рассматриваемый период времени, будет не меньше суммы приведенных к тому же году дополнительных расходов, обусловленных изменением этих геометрических параметров.

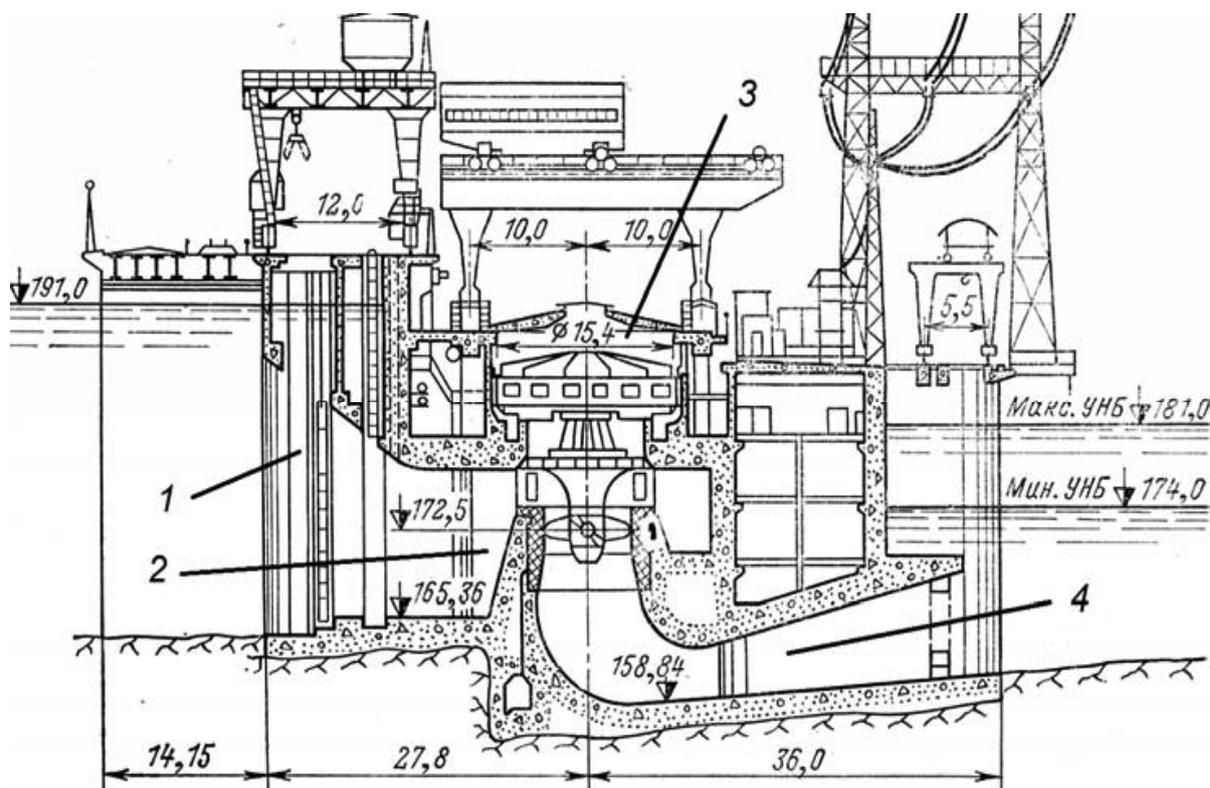


Рис. 1. Поперечный разрез агрегатного здания русловой ГЭС:  
1 – водоприемник; 2 – турбинная камера; 3 – машинный зал; 4 – отсасывающая труба

В выражении (1) обозначено:  $\Delta D$  – дополнительный  $n$ -й доход;  $\Delta P$  – дополнительный  $n$ -й расход (затраты);  $T$  – рассматриваемый временной период;  $t$  – текущий годовой период;  $\tau$  – год, к которому приводятся все затраты;  $i$  – величина дисконтной ставки.

Следует отметить важное обстоятельство: с одной стороны, увеличение длины отсасывающей трубы явно вызовет рост затрат на строительные работы из-за увеличения объема выемки грунта и объема укладываемого бетона. Однако, с другой стороны, при увеличении длины диффузорной части отсасывающей трубы увеличивается площадь выходного сечения (при условии сохранения угла растробности этого элемента). При этом средняя скорость водного потока в выходном сечении уменьшится. Из-за проявления последствий описанных факторов, потери скоростного напора в выходном сечении сократятся на величину

$$\Delta h = \left( \frac{\alpha V^2}{2g} - \frac{\alpha V_1^2}{2g} \right), \quad (2)$$

где  $V$  и  $V_1$  – средняя скорость потока воды в выходном сечении соответственно начального варианта и варианта с удлиненным диффузорным участком.

Снижение потерь напора обусловит получение дополнительной мощности, выработки электроэнергии и дополнительного дохода:

$$\Delta N = 9,8 \ln Q \Delta h, \quad (3)$$

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta N T_N, \quad (4)$$

$$\Delta D = \Delta \mathcal{E} b, \quad (5)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия гидроагрегата;  $Q$  – расход воды;  $T_N$  – условное годовое число часов использования мощности ГЭС;  $b$  – величина тарифа за 1 кВт·ч электроэнергии.

Из критерия (1) следует, что если приведенное выражение соблюдается, то удлинение отсасывающей трубы может считаться экономически оправданным.

С использованием изложенной выше методики проведены расчеты по выявлению степени влияния условий эксплуатации гидроэлектростанции на выбор основных параметров отсасывающих труб гидроагрегатов. С этой целью была составлена программа для компьютера, позволяющая быстро получать расчетные величины от варьируемых параметров.

Варьируемые параметры эксплуатации гидроагрегата ГЭС

Параметр	Величина
Напор гидротурбины, м	24
Диаметр турбины, м	9,0
Расход воды, м <sup>3</sup> /с	620
Исходная относительная длина отсасывающей трубы	3,5
Использование установленной мощности в год, ч	От 1000 до 7000
Цена реализации электроэнергии, руб./кВт-ч	2,4
Удлинение отсасывающей трубы, м	От 0,5 до 8,0
Дополнительные затраты на строительные работы, тыс. руб./м <sup>3</sup>	От 10 до 15
Период расчета, лет	От 5 до 20
Ставка дисконтирования, %	От 2 до 10
Увеличение цены на электроэнергию, % в год	От 0 до 20

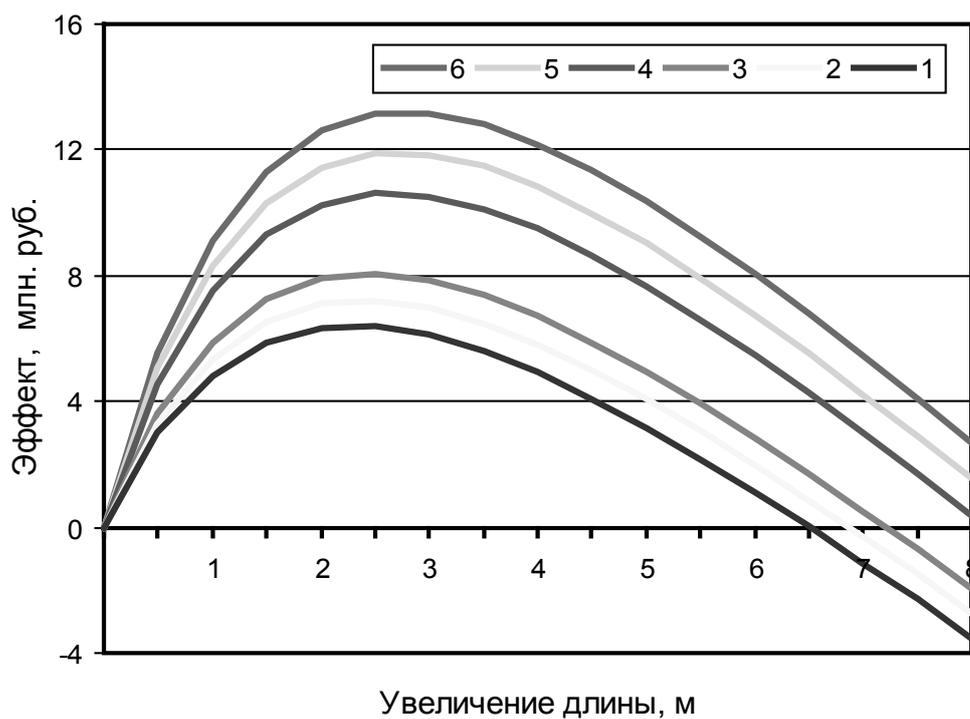


Рис. 2. Графики зависимости  $\mathcal{E} = f(\Delta L, b)$  при  $b = 2,4$  руб./кВт-ч и  $T = 10$  лет:

- 1 – при  $i = 10\%$  и неизменном тарифе на электроэнергию; 2 – при  $i = 10\%$  и ежегодном повышении тарифа на  $10\%$ ;
- 3 – при  $i = 10\%$  и ежегодном повышении тарифа на  $20\%$ ; 4 – при  $i = 2\%$  и неизменном тарифе на электроэнергию;
- 5 – при  $i = 2\%$  и ежегодном повышении тарифа на  $10\%$ ; 6 – при  $i = 2\%$  и ежегодном повышении тарифа на  $20\%$

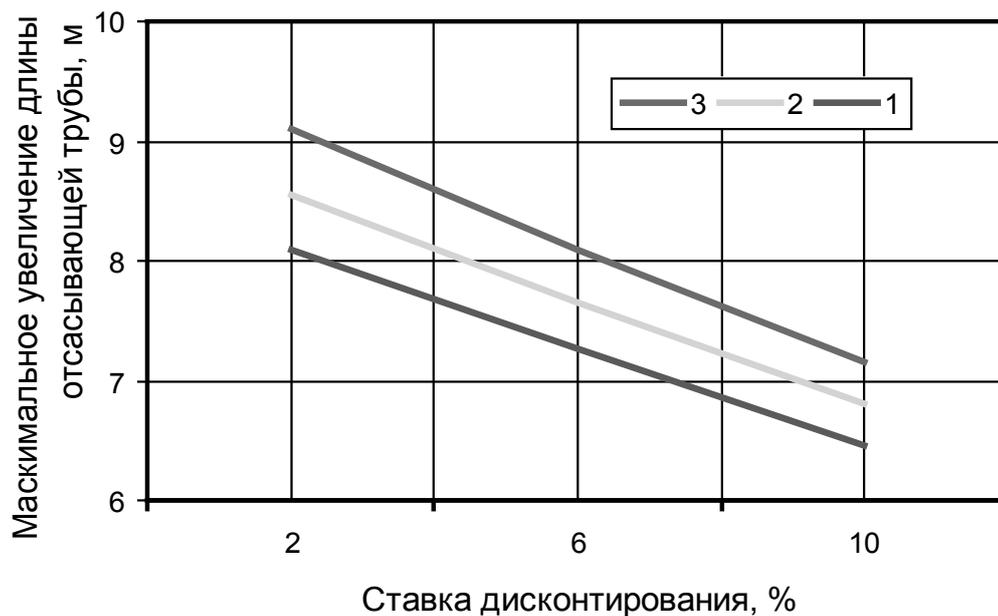


Рис. 3. Графики зависимости  $\Delta L_{МАКС} = f(i, b)$  при  $T = 10$  лет:  
 1 – при неизменном тарифе на электроэнергию; 2 – при ежегодном повышении тарифа на 10 %;  
 3 – при ежегодном повышении тарифа на 20 %

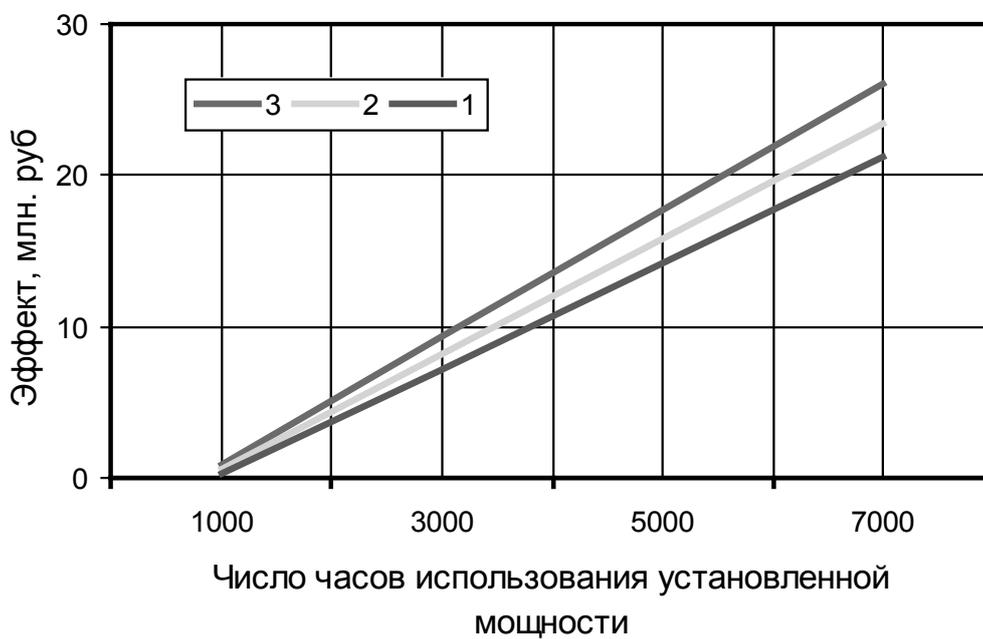


Рис. 4. Графики зависимости  $\mathcal{E} = f(T_N, i)$  для  $\Delta L = 2,5$  при  $T = 10$  лет и неизменном тарифе на электроэнергию:  
 1 – при ставке дисконтирования, равной 4 %; 2 – 6 %; 3 – 8 %

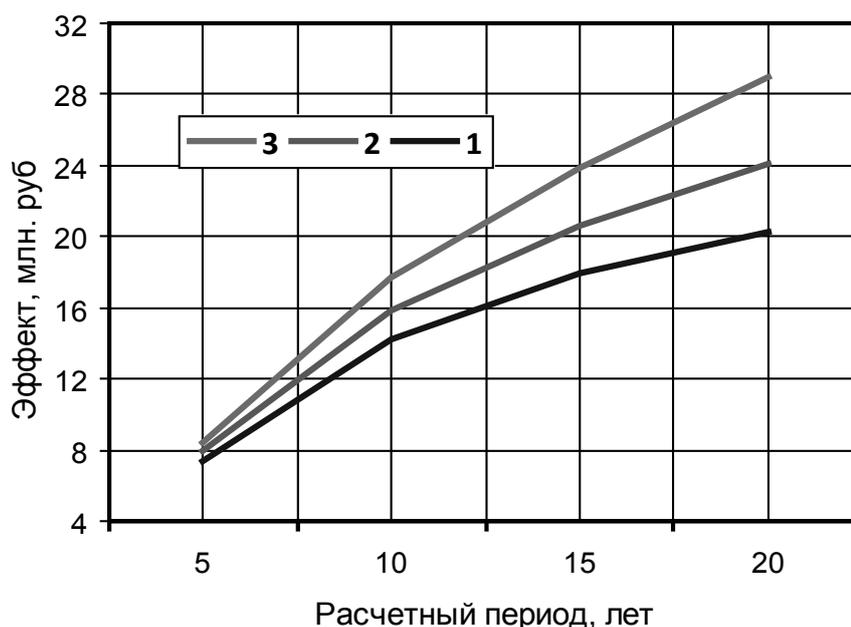


Рис. 5. График зависимости  $\mathcal{E} = f(T)$  для  $\Delta L=2,5$ , при  $T_N=5000$  ч и неизменном тарифе на электроэнергию:  
1 – при ставке дисконтирования, равной 8 %, 2 – 6 %, 3 – 4 %

Диапазоны варьируемых параметров приведены в табл. 1.

Результаты расчетов для наглядности представлялись в графическом виде. На рис. 2 и 3 представлены примеры полученных данных технико-экономических расчетов при  $T_N = 3000$  ч для 10-летнего расчетного периода.

Семейство построенных кривых зависимости  $\mathcal{E} = f(\Delta L, b)$  показывает, что для рассмотренных диапазонов изменения условий эксплуатации гидроагрегатов начальное увеличение длины отсасывающей трубы вызывает резкий рост интегрального эффекта. Однако в дальнейшем повышение энергетического эффекта начинает уступать росту затрат на строительные работы. В связи с этим все кривые имеют максимум, что свидетельствует о наличии оптимальной величины варьируемого параметра – дополнительной длины отсасывающей трубы.

В качестве исходного варианта отсасывающей трубы была принята конструкция с относительной длиной 3,5 (абсолютной – 31,5 м). В соответствии с полученными данными оптимальная величина относительного удлинения отсасывающей трубы составила 0,25-0,33 (абсолютная – 2,5-3,0 м). На основании этого сделан вывод о том, что максимальный интегральный эффект, согласно анализу для исследованных условий, может быть достигнут при применении отсасывающей трубы, имеющей общую

относительную длину в диапазоне 3,75-3,83 (абсолютную – 34,0-34,5 м).

Наибольшее экономически обоснованное удлинение отсасывающей трубы, удовлетворяющее условию (1), составило: при числе часов использования установленной мощности  $T_N=3000$  и ставке дисконтирования, равной 2 %, относительная величина – 0,90-1,01 (абсолютная – 8,1-9,1 м), а при ставке дисконтирования 10 % относительная величина – 0,72-0,80 (абсолютная – 6,5-7,2 м). При этом общая длина отсасывающей трубы составила: при ставке дисконтирования 2 % относительная величина – 4,40-4,51 (абсолютная – 39,6-40,6 м), а при ставке дисконтирования 10 % относительная величина – 4,22-4,30 (абсолютная – 38,0-38,7 м).

Выявлено, что оптимальная и наибольшая по экономическим соображениям длина отсасывающей трубы зависит от стоимости 1 м<sup>3</sup> дополнительных строительных работ. При увеличении стоимости, указанные выше значения сокращаются, а при уменьшении – возрастают. Однако первый показатель изменяется незначительно, а второй – существенно.

Анализ выполненных расчетов показал, что весьма существенное влияние на величину интегрального эффекта оказывает также такой показатель условий эксплуатации ГЭС, как число часов  $T_N$ . На рис. 4 приведены графики зависимости интегрального эффекта от этого параметра.

Из графиков следует, что для ГЭС, предназначенных к работе в полупиковом и базисном режимах, экономически обоснованный вариант габаритов отсасывающих труб может привести к значительному эффекту. В расчетах величина интегрального эффекта была определена в размере 21-26 млн. рублей.

Следует отметить, что рассчитанные данные приведены за очень короткий расчетный период – 10 лет. Гидроэлектростанции эксплуатируются существенно дольше. Очевидно, что величина эффекта существенно зависит от рассматриваемого расчетного периода. Пример влияния расчетного периода отражен на графиках рис. 5. Из них следует, что даже увеличение расчетного периода с 10 до 20 лет приводит к повышению экономического интегрального эффекта на 45-62 %. Однако на оптимальную и максимально допустимую длину отсасывающей трубы этот параметр влияния не оказывает.

Таким образом, выполненные расчеты подтвердили положение о том, что рекомендуемые в справочной литературе основные размеры отсасывающих труб, определяемые требованиями гидромашиностроителей, являются минимально допустимыми. Причем увеличение их габаритов не только допустимо, но и экономически целесообразно.

**Выводы.** 1. Основной размер коленчатых отсасывающих труб, используемый для вертикальных гидравлических агрегатов гидроэлектростанций руслового типа – ее длина, приводимый в справочной литературе в качестве рекомендуемых значений, является минимально допустимым размером по условиям нормальной эксплуатации гидротурбин. В каждом конкретном случае применения коленчатых отсасывающих труб необходимо выполнять технико-экономические расчеты по выявлению целесообразности и обоснованию параметров увеличения этого параметра.

2. Выполненные с применением метода интегрального эффекта расчеты и их анализ показали, что условия эксплуатации ГЭС оказывают существенное влияние на выбор основных геометрических параметров отсасывающих труб. Для рассмотренных случаев оптимальные параметры трубы – относительное и абсолютное увеличение ее длины – составили соответственно 0,25-0,33 и 2,5-3,0 м. При увеличении стоимости 1 м<sup>3</sup> строительных работ указанные параметры несколько сокращаются, а при уменьшении – возрастают.

3. В случае увеличения длины отсасывающей трубы до ее оптимального значения может быть по-

лучен значительный интегральный эффект, величина которого будет определяться экономическими условиями эксплуатации ГЭС – тарифом на 1 кВт·ч выдаваемой электроэнергии, действующей в рассматриваемом периоде ставкой дисконтирования, расчетным периодом.

4. Максимальная с точки зрения экономической целесообразности длина отсасывающей трубы существенно зависит от величины и динамики тарифа на 1 кВт·ч выдаваемой электроэнергии и стоимости дополнительных строительных работ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Использование водной энергии / Под ред. Ю.С. Васильева. М.: Энергоатомиздат, 1995. 608 с.
2. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. Изд. 2-е, доп. СПб.: Наука, 2013. 308 с.
3. Елистратов В.В. Использование возобновляемых источников энергии – путь к устойчивому развитию и энергоэффективности // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2012. № 3-1 (154). С. 77-83.
4. Соболев С.В., Федралев А.В. Использование водной энергии малых рек Нижний Новгород: ННГАСУ, 2009. 284 с.
5. Васильев Ю.С., Кубышкин А.И. О технологии проектирования объектов гидроэнергетики // Гидротехническое строительство. 2014. № 7. С. 2-8.
6. Свитала Ф., Галицкова Ю.М. Использование гидравлических энергоагрегатов с наклонной осью для малых ГЭС // Научное обозрение. 2014. №10 (2). С. 450-456.
7. Свитала Ф., Евдокимов С.В., Галицкова Ю.М. Особенности конструкций гидротехнических сооружений и агрегатных зданий первых гидроэлектростанций // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 87-90.
8. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В., Галицкова Ю.М. Развитие возобновляемой энергетики – важный вклад в обеспечение защиты окружающей среды // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 3. С. 16-19.
9. Бальзанников М.И. Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии и особенности их воздействия на окружающую среду // Вестник Волгогр. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31 (50). Ч. 1. С. 336-342.
10. Евдокимов С.В. Проблемы безопасности строительства энергетических установок, аккумулирующих нетрадиционные (возобновляемые) источники энергии // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2012. № 2 (6). С. 68-74.
11. Мещерякова З.В., Катков И.А., Михасек А.А. Реконструкция малых ГЭС // Międzynarodowa konferencja naukowa II Okrągły stół Hydroenergetyki Wisła – Wołga. 2004. С. 112-114.
12. Balzannikov M.I. The use of low-head waterpower developments in making cargo passages through lowland rivers // Procedia Engineering. 2015. No 111. Pp. 65-71.

13. Мецержакова З.В., Вундер Н.Я., Михасек А.А. Перспективы развития малой гидроэнергетики в Самарской области // Międzynarodowa konferencja naukowa II Okrągły stół Hydroenergetyki Wisła – Wołga. 2004. С. 114-177.

14. Иванов В.М., Бахтина И.А., Иванова Т.Ю., Ильиных С.В. Электроснабжение и энергосбережение с использованием возобновляемых источников энергии // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. № 2 (19). С. 88-93.

15. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В., Шехова Н.В. Эколого-экономическое обоснование эффективности гидроаккумулирующих и ветровых электростанций [Ecological and economic evaluation of the effectiveness of pumped storage power plants and wind-power plants] // Экономика и управление собственностью. 2015. № 1. С. 68-72.

16. Бальзанников М.И. Обоснование установленной мощности ГЭС энергетического гидроузла // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. № 8. С. 32-40.

17. Уришев Б.У., Мухаммадиев М.М., Носиров Ф., Жураев С.Р. Снижение заиливания аванкамеры мелиоративных насосных станций // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. № 4 (12). С. 49-53.

18. Иванов В.М., Иванова Т.Ю., Стоян И.А., Пчелинцев С.Г. Осевая гидротурбина новой конструкции и стенд для моделирования проточных частей гидротурбин // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2011. № 4. С. 102-106.

19. Бальзанников М.И., Селиверстов В.А. Особенности выбора основных параметров конструкции водовыпускного сооружения секционного типа крупной насосной станции // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 8. С. 17-19.

20. Бахтина И.А., Иванов В.М., Ильиных С.В., Степанова П.В., Елизаров Е.С. Экспериментальные исследования микро-ГЭС с осевой гидротурбиной на гидравлическом стенде // Ползуновский вестник. 2013. № 4-2. С. 12-19.

21. Бальзанников М.И., Елистратов В.В. Результаты энергогидравлических исследований прямооточного водовыпуска крупной насосной станции // Гидротехническое строительство. 1994. № 12. С. 19-22.

22. Пиявский С.А., Евдокимов С.В. Обоснование конструкций водопропускных гидротехнических сооружений в условиях неопределенности // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 6. С. 36-43.

23. Bal'zannikov M.I., Seliverstov V.A. Characteristics of Substantiation of Water-Intake Parameters at WSPP as Component Parts of the Power Complex // Power Technology and Engineering 2015. Vol. 49. No 1. Pp. 22-26.

24. Попов В.П., Михасек А.А., Селиверстов В.А. Влияние геометрических характеристик входного участка водопропускного устройства гидротехнического сооружения на гидравлические параметры потока // Вестник КГУСТА. 2014. № 1. С. 73-79.

© Бальзанников М.И., 2015

Об авторе:

**БАЛЬЗАННИКОВ Михаил Иванович**

доктор технических наук, профессор кафедры природоохранного и гидротехнического строительства Самарский государственный архитектурно-строительный университет  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)242-17-84

**BAL'ZANNIKOV Mikhail**

Doctor of Engineering Science, Professor of the Environmental and Hydraulic Engineering Chair Samara State University of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya St., 194, tel. (846) 242-21-71

Для цитирования: Бальзанников М.И. Влияние условий эксплуатации гидроэлектростанций на выбор основных параметров отсасывающих труб // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. № 4 (21). С. 86-92.

For citation: Bal'zannikov M.I. The influence of operation conditions of hydroelectric power plants on the choice of the main parameters of the suction pipes // Vestnik SGASU. Town Planning and Architecture. 2015. № 4(21). Pp. 86-92.