

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВХОДНОГО УЧАСТКА ВОДОПРОПУСКНОГО УСТРОЙСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОТОКА**

*В.П.ПОПОВ, А.А.МИХАСЕК, В.А.СЕЛИВЕРСТОВ*  
*E.mail. ksucta@elcat.kg*

*Издөөнүн жыйынтыгында суу өткөрүүчү курулуштун негизги геометриялык параметрлерин – суу кабыл алуу камерасынын төбөсүнүн жантаюу бурчун жана кирүү бөлүгүнүн узундугун өзгөртүү менен суу өткөрүүчү курулуштун кирүү бөлүгүндө суунун агуу параметрлери алынды.*

*В результате исследований были получены параметры течения потока воды в области входного участка водопропускного устройства при варьировании его основными геометрическими параметрами – углом наклона потолка водоприемной камеры и длиной входного участка водоприемной камеры.*

*As a result of the research there have been obtained the parameters of water flow in the inlet area of a culvert unit when varying its basic geometric parameters – the angle of a ceiling tilt in a water intake chamber and the length of the inlet of a water intake chamber.*

Водопропускные устройства гидротехнических сооружений состоят из характерных элементов: входного оголовка – водоприемника, участка размещения затворов, водовода, выходного участка. Входной оголовок водопропускного сооружения обеспечивает плавный вход водного потока в напорный водовод. При этом скорости водного потока в направлении его движения существенно увеличиваются. В зависимости от формы входного оголовка могут образовываться отрывные течения и срыв вихрей, что вызовет возникновение значительной пульсации давления и, в свою очередь, приведет к быстрому разрушению стен оголовка водопропускного сооружения, а далее – и других элементов водопропускного устройства /1-3/. Таким образом, исследование условий течения потока в области входного участка водопропускного сооружения с целью разработки мероприятий по устранению неблагоприятных гидравлических условий и выработки рекомендаций по креплению и (или) облицовке внутренней поверхности водовода является актуальной задачей.

Основные геометрические параметры водопропускных устройств гидротехнических сооружений выбирают с учетом пропускаемого расхода, напора воды, высоты водоподпорного сооружения, геологических условий, технико-экономических условий и прочих положений /4, 5/. Обзор научных публикаций, например, /6-12/, показывает, что гидротехнические и гидроэнергетические объекты, а также водохранилища, создаваемые ими, оказывают существенное негативное влияние на окружающую среду. Это свидетельствует о необходимости создания эффективных систем мониторинга за их функционированием, а также о важности принятия оперативных мер по управлению качеством окружающей среды. С целью повышения надежности гидротехнических сооружений и эффективности их работы, снижения негативного воздействия на природу учеными Самарского государственного архитектурно-строительного университета (СГАСУ) предложены для использования усовершенствованные конструкции водоприемных устройств /13-23/. В них за счет использования потоконаправляющих элементов обеспечивается изменение гидравлических условий течения водного потока и, тем самым, достигаются поставленные цели. Для подпорных сооружений рекомендовано больше внимания уделять вопросам

совершенствования технологии возведения плотин /24, 25/, а также изучению особенностей фильтрации воды при эксплуатации сооружений и воздействия сбрасываемого паводкового расхода воды /26-28/.

Задачей настоящих исследований являются определение и анализ распределения скорости потока в различных сечениях входного участка водопропускного устройства гидротехнического сооружения.

Для изучения условий и параметров течения потока воды в водопропускном устройстве гидротехнического сооружения исследовалась модель этого устройства численным методом с применением программного средства «ANSYS». Возможности применения программного средства для анализа двумерных полей потока жидкости, а также методика проведения исследований подробно изложены в /29-32/.

В результате исследований были получены параметры течения потока воды в области входного участка водопропускного устройства при варьировании его основными геометрическими параметрами – углом наклона потолка водоприемной камеры  $\beta$  и длиной входного участка водоприемной камеры  $L$ . Высота водовода (диаметр) была принята в качестве параметра  $h$ , а высота подходного канала (глубина воды в водохранилище) –  $H$  (рис. 1).

На рис. 2 представлена характерная картина скоростей потока в модели водопропускного устройства, полученная с применением указанной выше расчетной программы, для характерных значений угла  $\beta$  и длины  $L$ . Из рисунка видно, что для приведенных параметров водоприемной камеры водопропускного устройства зона нулевых скоростей потока образуется в верхней области потока перед входным сечением входного участка. Отрывных течений и срыва вихрей по длине водоприемной камеры и в водоводе не наблюдается.

На наш взгляд, наибольший интерес представляют результаты исследований параметров скорости потока в двух сечениях: 1 – во входном сечении водоприемной камеры и 2 – во входном сечении водовода (сразу за водоприемной камерой). Специфика этих сечений в том, что скорость потока в них формируется предыдущим участком водопропускного устройства, геометрические параметры которого в настоящих исследованиях варьировались. При этом именно в этих сечениях величины скорости потока по высоте сечения существенно изменялись в зависимости от варьируемых геометрических параметров. Кроме того, параметры скорости потока в выбранных сечениях определяли характер потока на последующих участках водопропускного устройства.

Для принятой модели подробно были изучены параметры скорости потока в разных вертикальных сечениях водопропускного устройства.

Примеры полученных расчетных значений скорости потока во входном сечении водоприемной камеры при высоте  $H = 5h$  приведены на рис. 3. Приведенные значения свидетельствуют о том, что при малых углах  $\beta$  поле скоростей в первом сечении весьма неравномерно. Однако с увеличением угла  $\beta$  до  $14-16^\circ$  величины скорости практически выравниваются по высоте. При дальнейшем увеличении угла  $\beta$  распределение величин скорости потока по высоте сечения практически не изменялось. На рисунке линией красного цвета обозначена средняя величина скорости в сечении.

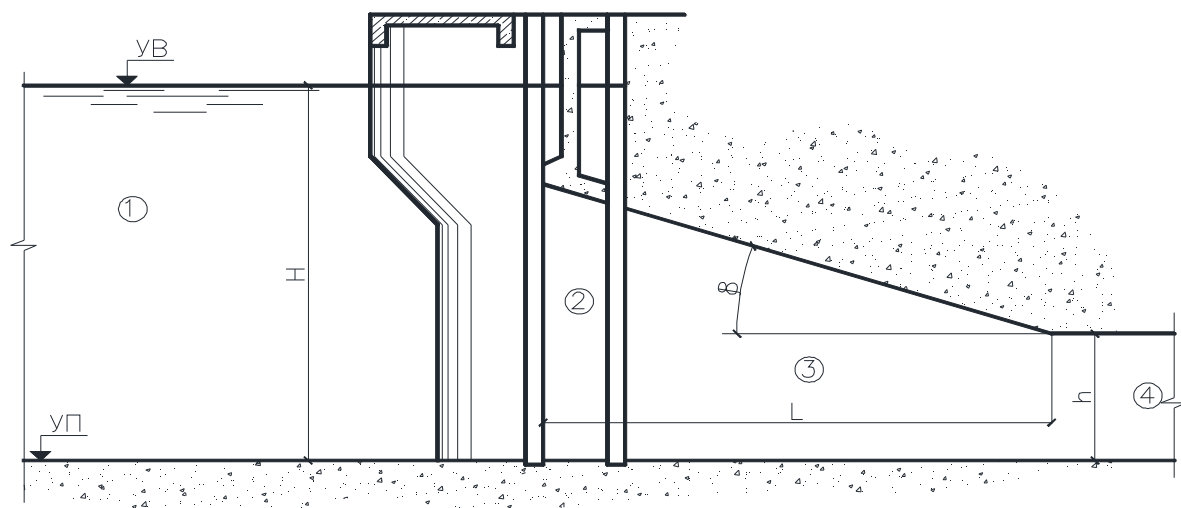


Рис. 1. Схема входного участка водопропускного устройства: 1 – водоем, 2 – входное сечение, 3 – водоприемная камера, 4 – напорный водовод

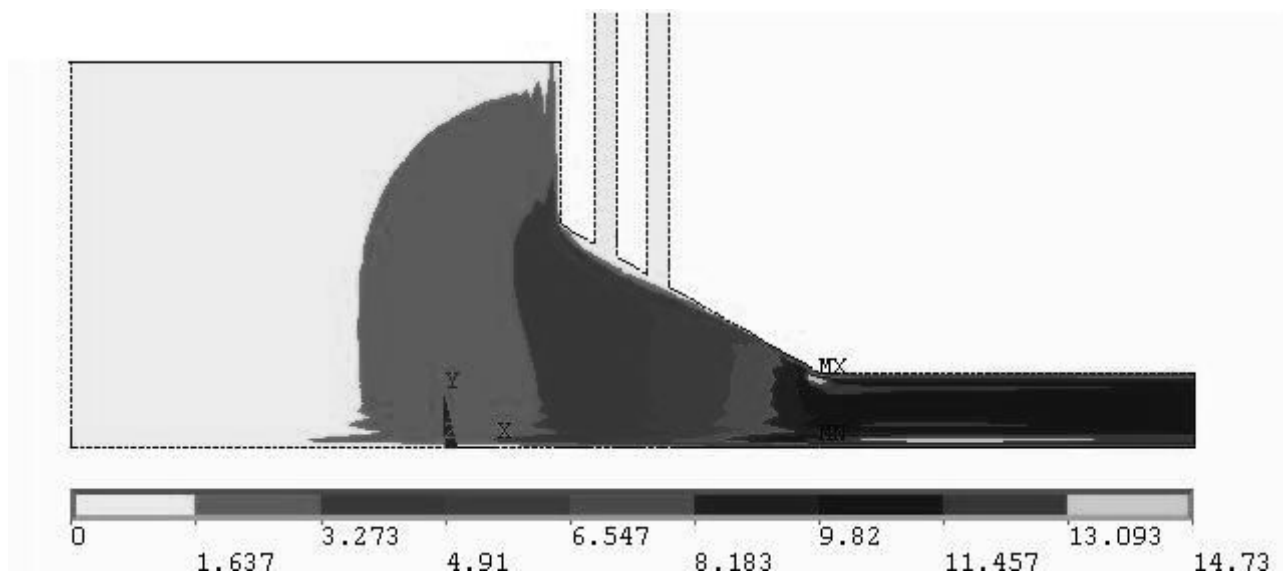


Рис. 2. Характер течения потока воды во входном участке водопропускного устройства при  $L = 4h$  и  $\beta = 30^\circ$

Анализ результатов исследования показал, что на распределение величин скорости потока по высоте в сечении, намеченном на удалении  $0,6h$  от входного сечения в водоприемную камеру, значительное влияние оказывает глубина воды в водохранилище  $H$ . Эти результаты хорошо согласуются с данными, полученными в [33]. На рис. 4 приведены значения величин скорости потока в этом удаленном сечении водоприемной камеры для различных значений  $H$ . Из них следует, что с увеличением заглубления входного участка под уровень воды в водохранилище величины скоростей в этом сечении и неравномерность поля скоростей по высоте сечения возрастают. Причем большие значения скорости потока смещаются в нижнюю область.

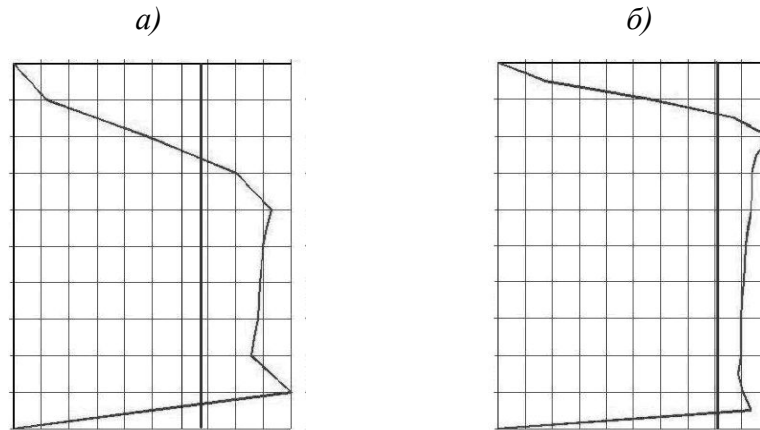


Рис. 3. Распределение величин скорости потока во входном сечении водоприемной камеры при  $H = 5 h$ : а) при  $\beta = 0^\circ$ ; б) при  $\beta = 15^\circ$

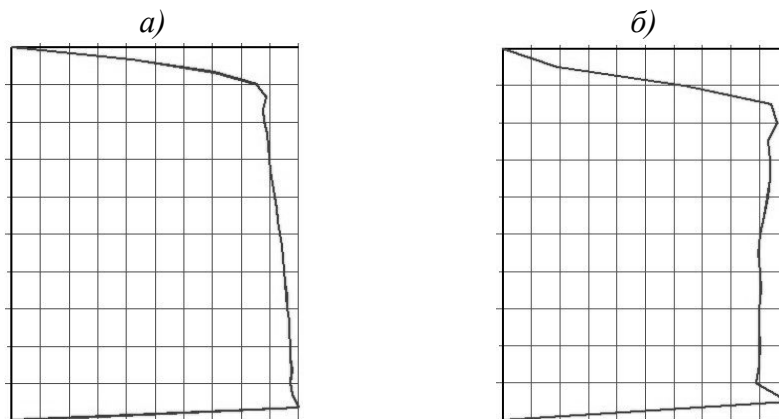


Рис. 4. Распределение величин скорости потока в сечении на удалении на  $0,6h$  от входного для  $\beta = 30^\circ$ : а) при  $H = 5 h$ ; б) при  $H = 15 h$

Результаты исследования скорости потока во входном сечении водовода за водоприемной камерой показали, что с увеличением угла  $\beta$  неравномерность распределения скорости потока по высоте при входе в напорный водовод увеличивается. При этом наибольшие значения скорости также смещаются в нижнюю область поперечного сечения (рис. 5).

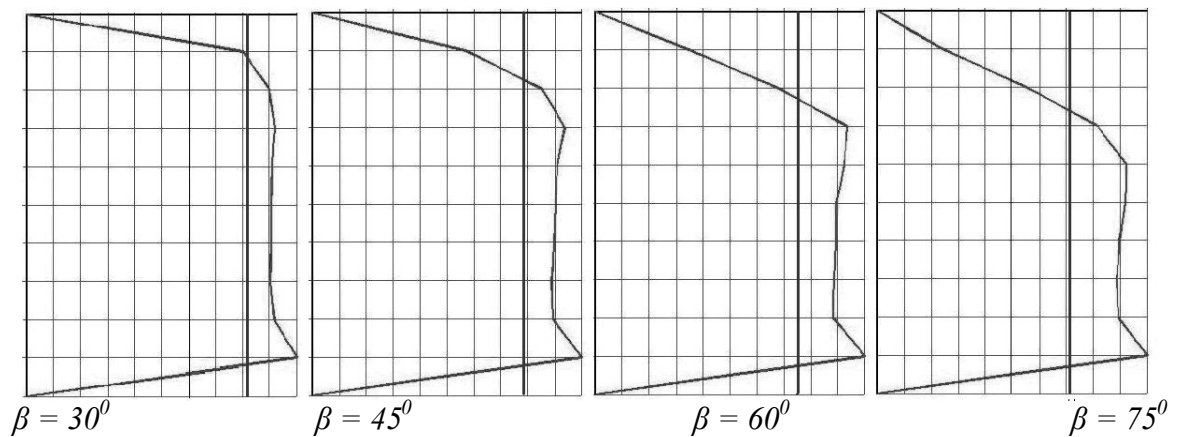


Рис. 5. Распределение величин скорости потока во входном сечении водовода

Следует отметить, что конструктивные элементы водовода, из-за которых резко изменяются величина и направление скорости потока, играют роль местных сопротивлений и приводят к дополнительным потерям напора. Увеличиваются потери напора также при увеличении неравномерности скорости потока в сечении водопропускного устройства, а также при образовании отрывных течений и водоворотных областей.

В качестве параметра, характеризующего количественную характеристику неравномерности распределения скорости водного потока по высоте сечения, была принята величина  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса, который определялся по известной формуле [32]:

$$\alpha = \frac{1}{\omega} \int_{\omega} \left[ \frac{V_i}{V_{cp}} \right]^3 d\omega,$$

где  $V_{cp}$  – средняя величина скорости потока в сечении.

Подробная обработка результатов исследований параметров водного потока позволила выявить влияние формы входного участка водопропускного устройства и его основных геометрических параметров на характеристики скорости водного потока. В частности, на рис. 6 представлены графики зависимости коэффициента  $\alpha$  от угла  $\beta$  во входном сечении водоприемной камеры и входном сечении напорного водовода.

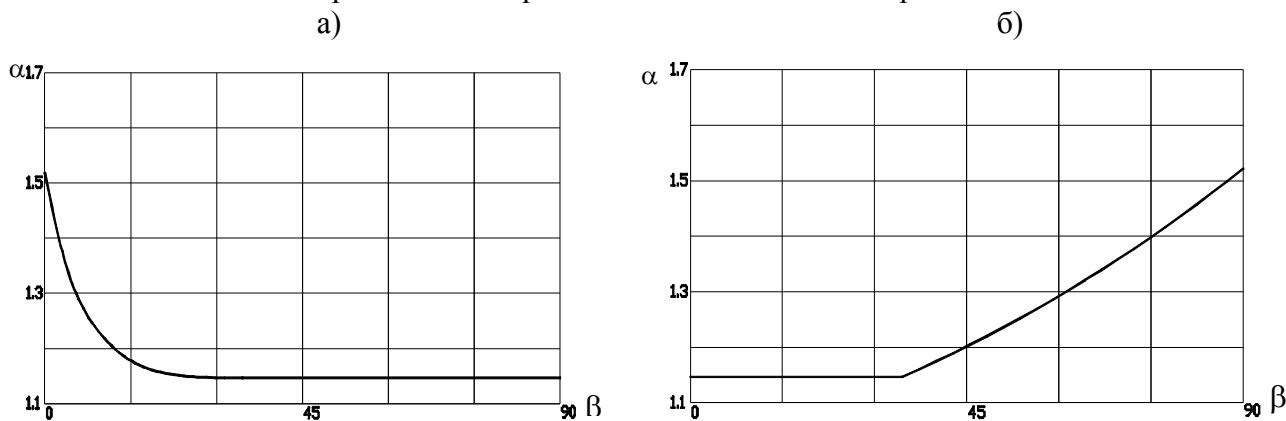


Рис. 6. Графики зависимости  $\alpha = f(\beta)$ : а) – во входном сечении водоприемной камеры;  
б) – в сечении напорного водовода

Из графиков следует, что с увеличением угла  $\beta$  от  $0^\circ$  до  $(28-30)^\circ$  неравномерность водного потока во входном сечении водоприемной камеры уменьшается. Уменьшается также и коэффициент  $\alpha$  с 1,52 до 1,15. При дальнейшем увеличении угла  $\beta$  коэффициент  $\alpha$  остается практически неизменным.

Во входном сечении напорного водовода за водоприемной камерой коэффициент  $\alpha$  сначала имеет наименьшее значение, равное 1,15, и начинает увеличиваться при увеличении угла  $\beta$  после  $35^\circ$ . Причиной такого изменения коэффициента, по-видимому, являются сужение потока воды на исследуемом участке и рост степени влияния местного сопротивления. При значительных величинах  $\beta$  появляются отрывные течения и водоворотная область.

Выполненный анализ полученных результатов позволяет утверждать, что при пропуске расхода воды через водопропускное устройство гидротехнического сооружения наилучшим гидравлическим условиям на входном участке соответствуют условия со значениями угла  $\beta$  в диапазоне  $(28-35)^\circ$ . При этом отрывных течений и срыва вихрей не наблюдается. С уменьшением угла  $\beta$  увеличивается неравномерность потока на начальном участке водоприемной камеры и появляется отрывное течение. При увеличении угла  $\beta$  неравномерность потока возрастает сразу за входным участком водовода. Значения угла  $\beta$ , равное  $(28-35)^\circ$ , обеспечивают наиболее равномерное распределение скоростей потока по

высоте как во входном сечении водоприемной камеры, так и на начальном участке напорного водовода.

## ВЫВОДЫ

1. Геометрические характеристики входного участка водопропускного устройства гидротехнического сооружения оказывают существенное влияние на гидравлические параметры потока – величины скорости потока и распределение скоростей потока в сечениях водопропускного устройства, коэффициент Кориолиса, образование отрывных течений и водоворотных областей в пределах водопропускного устройства.

2. При использовании водопропускного устройства с короткой водоприемной камерой и большой конфузурностью поток сильно сужается в зоне входного участка в водовод за конфузурной водоприемной камерой, скорости потока в поперечном сечении приобретают существенную неравномерность, образуются отрывные течения и водоворотные области. При увеличении угла  $\beta$  свыше  $35^\circ$  коэффициент Кориолиса  $\alpha$  возрастает с 1,15 до 1,53.

3. Использование удлиненной водоприемной камеры с малой конфузурностью (угол  $\beta$  меньше  $28^\circ$ ) вызывает значительное сужение потока в области входного участка водоприемной камеры и существенную неравномерность потока в поперечном сечении, а также появление в этой зоне отрывного течения и водоворотной области.

4. Наилучшие гидравлические условия течения в водопропускном устройстве гидротехнического сооружения наблюдаются при углах  $\beta$ , соответствующих  $(28-35)^\circ$ . При этом распределение скоростей потока наиболее равномерное в характерных сечениях водоприемной камеры. Отрывных течений не наблюдается.

5. Результаты исследований могут быть использованы для разработки рекомендаций по усиленному креплению и применению облицовки областей внутренней поверхности водовода, в которых имеют место неблагоприятные гидравлические условия течения.

## Список литературы

1. Бальзанников М.И., Елистратов В.В. Возобновляемые источники энергии. Аспекты комплексного использования. – Самара: ООО «Офорт», 2008. – 331 с.
2. Претро Г.А., Бальзанников М.И. Основные типы водоприемников-водовыпусков ГАЭС // Энергохозяйство за рубежом. – 1984. – № 5. – С. 25-30.
3. Претро Г.А., Бальзанников М.И. Особенности компоновки и оборудования низовых водоприемников-водовыпусков ГАЭС // Энергохозяйство за рубежом. – 1984. – № 6. – С. 33-37.
4. Васильев Ю.С., Бальзанников М.И. Влияние сработки водохранилища ГАЭС на энергогидравлические характеристики водоприемника-водовыпуска и выбор его оптимального очертания // Известия вузов. Строительство. – 1993. – № 10. – С. 80-84.
5. 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.
6. Евдокимов С.В., Селиверстов В.А. Повышение конкурентоспособности малых гидроэнергетических установок в современных условиях // Kaskady elektrovni wodnych na rzekach Europy: Miedzynarodowa konferencja naukowa. II Qkragly stol Hidroenergetiki Wisla-Wolga. Lublin: Drukarnia «Si-Art», 2004. – С. 46-47.
7. Бальзанников М.И., Иванов Б.Г., Михасек А.А. Система управления состоянием управления состоянием гидротехнических сооружений // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – 2012. – № 7. – С. 119-124.

8. Вавилова Т.Я., Бальзанников М.И. Охрана окружающей среды. Устойчивое развитие. Безопасность жизнедеятельности: Терминологический словарь. – Самара: Изд-во Самарского гос. арх.-строит. ун-та, 2005. – 288 с.
9. Бальзанников М.И., Вышкин Е.Г. Hydroelectric power plants reservoirs and their impact on the environment // Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 8-th International Scientific and Practical Conference. Vol. 1. Rezeknes Augstskova, Rezekne, RA Izdevnieciba. 2011. S. 171-174.
10. Бальзанников М.И., Лукенюк Е.В., Лукенюк А.И. Экологическая система сбора информации о состоянии региона // Патент РФ на полезную модель 70026. 2008. Бюл. № 1.
11. Бальзанников М.И., Лукенюк Е.В. Применение интерполяционных и экстраполяционных моделей в управлении качеством окружающей среды // Экология и промышленность России. – 2007. – № 7. – С. 38-41.
12. Бальзанников М.И., Лукенюк Е.В. Использование геоинформационной системы оперативного экологического мониторинга для управления качеством окружающей среды // Экологические системы и приборы. – 2008. – № 2. – С. 3-5.
13. Васильев Ю.С., Коновалов А.Б., Кукушкин В.А., Хлебников С.Н., Бальзанников М.И. Водоприемник гидротехнического сооружения // Авторское свидетельство РФ 1155665. 1985. Бюл. № 18.
14. Васильев Ю.С., Бальзанников М.И., Фомин А.В. Водоприемник гидроаккумулирующей электростанции // Авторское свидетельство РФ 1260437. 1986. Бюл. № 36.
15. Васильев Ю.С., Кукушкин В.А., Беляев С.Г., Бальзанников М.И., Водоприемник-водовыпуск гидроаккумулирующей электростанции // Авторское свидетельство РФ 1289954. 1987. Бюл. № 6.
16. Ивашинцов Д.А., Бальзанников М.И., Олинер И.М. Водоприемник-водовыпуск гидроаккумулирующей электростанции // Патент РФ 2014383. 1994. Бюл. № 11.
17. Бальзанников М.И., Козлов О.А. Водоприемник-водовыпуск // Патент РФ 2068051. 1996. Бюл. № 29.
18. Бальзанников М.И., Сучилина Т.В. Водоприемник // Патент РФ 2064996. 1996. Бюл. № 22.
19. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В., Галицкова Ю.М. Водоприемник-водовыпуск // Патент РФ 2169229. 2001. Бюл. № 17.
20. Бальзанников М.И., Селиверстов В.А. Водоприемник // Патент РФ 2389846. 2009. Бюл. № 14.
21. Бальзанников М.И., Селиверстов В.А. Водоприемник-водовыпуск // Патент РФ 2389847. 2010. Бюл. № 14.
22. Бальзанников М.И. Водоприемные устройства секционного типа гидроэнергетических установок // Вестник Отделения строительных наук РААСН. – 2012. – Вып. 16. – Том 2. – С. 209-214.
23. Бальзанников М.И. Совершенствование конструкций водоприемно-водовыпускных устройств гидроэнергетических установок // Гидротехническое строительство. – 1994. – № 9. – С. 30-35.
24. Shabanov V.A., Balzannikov M.I., Ryzhov V.A., Osipov S.V., Kon'ko V.V., Shkarin V.P. Ways of improving the performance and reliability of gravitational dams made with low-cement concrete // Power Technology and Engineering. 2001. T. 35. № 12. С. 609-613.
25. Шабанов В.А., Бальзанников М.И., Михасек А.А. Способ возведения плотины // Патент РФ 2330140. 2008. Бюл. № 21.
26. Loginov V.A., Shabanov V.A. Filtration flows in the upper wedge of an earthen dam // Power Technology and Engineering. 2012. T. 45. № 5. С. 338-340.
27. Bukhartsev V.N., Petrichenko M.R. Approximation of the depression curve of the inflow to an ideal trench // Power Technology and Engineering. 2011. T. 44. № 5. С. 374-377.

28. Pravdivets Y.P., Bramley M.E. Stepped protection blocks for dam spillways // International Water Power and Dam Construction. 1989. Т. 41. № 7.
29. Селиверстов В.А. Результаты исследований водоприемного устройства гидроэнергетической установки с использованием программы «Ansys» // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 4-2 (89). – С. 149-153.
30. Бальзанников М.И., Селиверстов В.А. Исследования влияния разделителей потока для применения в водоприемных устройствах гидроэнергетических установок // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». – 2009. – № 3 (25). – С. 199-205.
31. Бальзанников М.И., Селиверстов В.А. Влияние конструкции водоприемного устройства ГАЭС на потери энергии при его работе в насосном режиме // Вестник МГСУ. – 2010. – № 1. – С. 175-180.
32. Бальзанников М.И., Селиверстов В.А. Исследования водоприемного устройства гидроаккумулирующей электростанции // Гидротехническое строительство. – 2012. – № 4. – С. 21-26.
33. Васильев Ю.С., Бальзанников М.И. Влияние сработки водохранилища ГАЭС на энергогидравлические характеристики водоприемника-водовыпуска и выбор его оптимального очертания // Известия вузов. Строительство. – 1993. – № 10. – С. 80-84.