

# Энергетика

УДК 621.22

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗДЕЛИТЕЛЕЙ ПОТОКА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ВОДОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВАХ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

*М.И. Бальзанников, В.А. Селивёрстов*

Самарский государственный архитектурно-строительный университет,  
443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194.

*Исследовано влияние разделителей потока секционного водоприемного устройства гидроэнергетической установки. Получены параметры течения потока воды в рабочей области водоприемного устройства с целью использования их при оптимизации геометрических параметров элементов водоприемного устройства гидроэнергетической установки.*

**Ключевые слова:** гидроэнергетическая установка, водопроводящий тракт, секционное водоприемное устройство, потолочный элемент, разделители потока.

Конструкции водоприемных устройств гидроэнергетических установок (ГЭУ) весьма разнообразны. Для каждого их конструктивного типа можно определить специфические параметры, характеризующие их геометрические особенности [1]. Однако, целесообразно выделить наиболее значимые геометрические параметры – параметры первого уровня, которые присущи практически всем конструктивным решениям водоприемных устройств.

Во всех водоприемных устройствах ГЭУ обеспечивается перевод безнапорного водного потока в напорное течение, причем площадь поперечного сечения водного потока в направлении его движения уменьшается. В связи с этим, логично, на наш взгляд, в качестве геометрических параметров первого уровня принять площади поперечного сечения водоприемника во входном  $\omega_{вх}$  и выходном  $\omega_{вых}$  сечениях конфузорного участка и его общую длину  $L_B$ .

Возможно использование модификаций приведенных выше параметров:

– относительное уменьшение площади поперечного сечения  $\omega = \frac{\omega_{вх}}{\omega_{вых}}$  и отно-

сительная длина конфузорного участка  $L_B = \frac{L_B}{b}$ , где  $b$  – характерный геометриче-

ский размер водоприемного устройства, в качестве которого можно принять высоту выходного сечения водоприемника  $H_{вых}$  (высоту напорного водовода за конфузуром водоприемника);

– относительное уменьшение высоты водоприемного устройства  $H_{вх} = \frac{H_{вх}}{H_{вых}}$  и

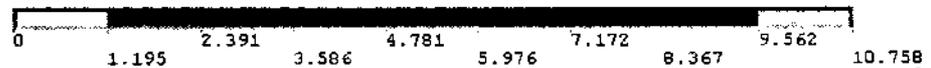
относительная его длина  $L_B = \frac{L_B}{H_{вых}}$  ;

– высота выходного сечения водоприемника  $H_{вых}$  (высота или диаметр напорного водовода), угол наклона потолка раструбного участка  $\beta$  и ее длина  $L$ .

Геометрические параметры первого уровня для водоприемников являются основными его параметрами, поскольку именно они характеризуют общие габариты водоприемного сооружения, а следовательно, его стоимость. С другой стороны эти параметры определяют гидравлические условия течения потока воды в водоприемнике ГЭУ и величину потерь энергии потока в нем. Таким образом, выбор оптимальных основных параметров водоприемного устройства является важной задачей, правильное решение которой позволит более эффективно использовать энергию водного потока на гидроэнергетической установке.

В Самарском государственном архитектурно-строительном университете выполнены исследования секционного водоприемного устройства ГЭУ с целью определения влияния его основных геометрических параметров на характеристики и структуру потока воды в нем. Исследования проведены численным методом с применением программного средства «ANSYS» в модуле FLOTRAN CFD. Возможности применения FLOTRAN CFD для анализа двумерных полей потока жидкости или газа подробно излагаются в [2].

В исследованиях использовалась свободная конечно-элементная (free) сетка, позволяющая разбивать на конечные элементы геометрически сложные конструктивные элементы. Граничные условия определялись и задавались перед созданием конечно-элементной геометрической модели. Для получения адекватных результатов были проведены многократные повторные запуски расчетов.



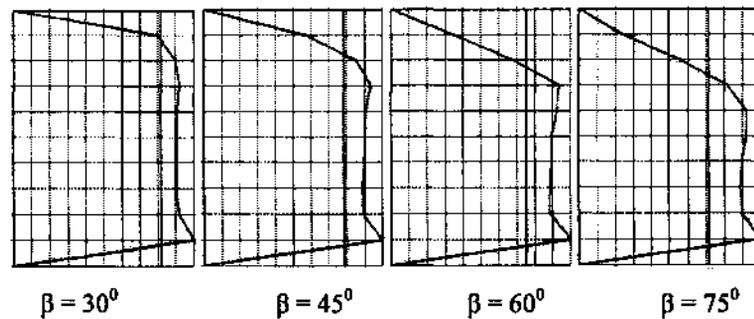
Р и с. 1. Характер течения потока воды в водоприемном устройстве при  $L = 4H$  и  $\beta = 30^\circ$

В результате исследований были получены параметры течения потока воды в рабочей области водоприемного устройства при варьировании основными геометрическими параметрами – углом наклона потолка конфузорной водоприемной камеры  $\beta$  и ее длиной  $L$  в широких диапазонах.

На рис. 1 приведен пример результатов исследований при  $L = 4H$  (где  $H$  – высота водовода) и  $\beta = 30^\circ$ .

Анализ полученных результатов показал, что наиболее энергосберегающим условиям течения потока воды в конфузорном участке соответствуют углы установки потолочного элемента в диапазоне  $28^\circ$ - $35^\circ$ . С уменьшением угла установки  $\beta$  увеличивается неравномерность потока на начальном участке конфузора, вплоть до появления отрывного течения. При увеличении угла  $\beta$  неравномерность потока возрастает сразу за входным участком водовода.

Наибольшая величина неравномерности потока в водоводе за конфузорным участком наблюдается на удалении около  $0,6H$  от входного сечения водовода. Изменение эпюры скорости потока в этом сечении в зависимости от угла наклона потолочного элемента представлено на рис. 2.



Р и с. 2. Распределение скоростей потока в напорном водоводе

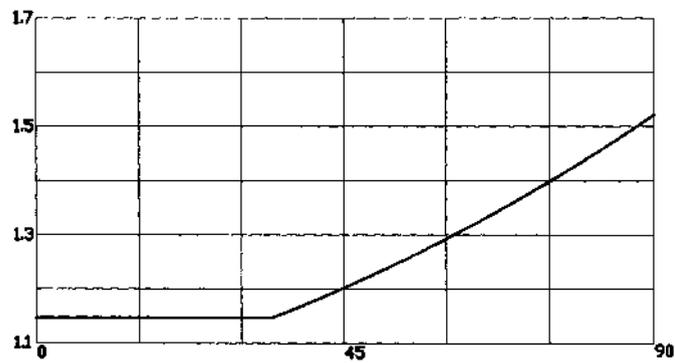
Из рис. 2 видно, что с увеличением угла наклона потолочного элемента неравномерность потока при входе в напорный водовод увеличивается.

Более подробная обработка результатов исследований параметров течения потока при работе водоприемного устройства в турбинном режиме позволила получить зависимость коэффициента неравномерности кинетической энергии  $\alpha$  от угла установки потолочного элемента  $\beta$ . График зависимости  $\alpha = f(\beta)$  при входе потока в водовод приведен на рис. 3.

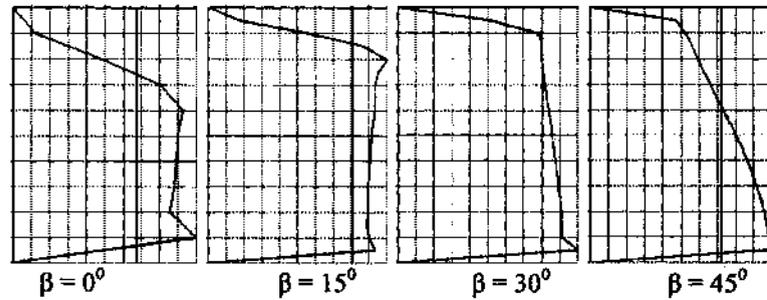
Из графика следует, что неравномерность потока за конфузорным участком на входном участке водопроводящего тракта начинает возрастать после увеличения угла наклона потолка камеры свыше  $35$  градусов. Это обусловлено проявлением сужения потока на этом участке, являющегося местным сопротивлением. Причем, чем больше угол  $\beta$ , тем значительнее сужение потока, вплоть до появления водоворотных областей.

Если угол наклона потолочного элемента меньше  $35^\circ$ , то коэффициент неравномерности потока остается практически постоянным равным  $\alpha = 1,15$ .

Характерные распределения скоростей потока во входном сечении конфузорной камеры водоприемного устройства приведены на рис. 4. Из них следует, что при входе потока в водоприемную камеру с малыми углами наклона потолочного элемента поле скоростей весьма неравномерно. Причем с увеличением угла  $\beta$  скорости выравниваются.

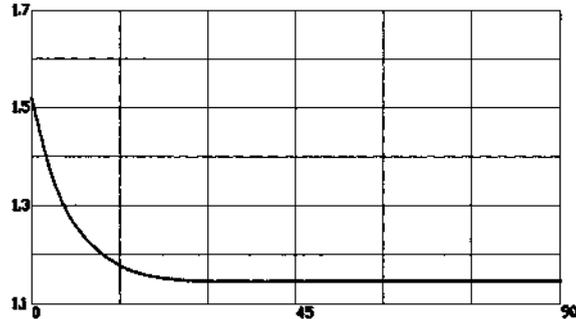


Р и с. 3. График зависимости  $\alpha = f(\beta)$  в сечении напорного водовода



Р и с. 4. Распределение скоростей потока во входном сечении конфузорной камеры водоприемного устройства

Обработка результатов эксперимента позволила выявить зависимость коэффициента неравномерности кинетической энергии  $\alpha$  во входном сечении конфузорной камеры от угла наклона потолочного элемента  $\beta$ . Вид зависимости представлен на рис. 5. Данные свидетельствуют о том, что при увеличении угла  $\beta$  от  $0^\circ$  до  $28^\circ$  коэффициент  $\alpha$  уменьшается с 1,52 до 1,15. Однако, при дальнейшем увеличении угла  $\beta$  коэффициент  $\alpha$  практически не изменяется.



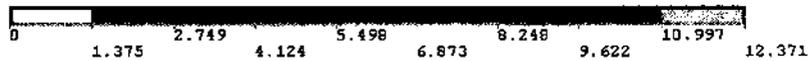
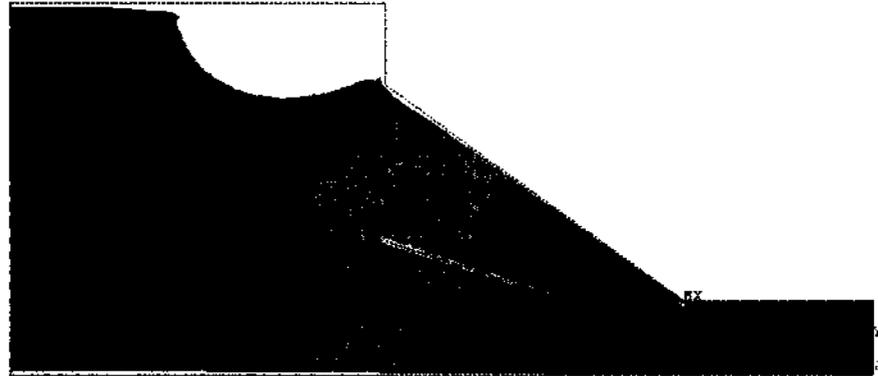
Р и с. 5. График зависимости  $\alpha = f(\beta)$  во входном сечении конфузорной камеры

Таким образом, углы наклона потолочного элемента водоприемной камеры, соответствующие 28-35 градусам, обеспечивают наиболее равномерное распределение скоростей потока как в конфузорной камере, так и на начальном участке напорного водовода. Именно эти значения  $\beta$  можно считать оптимальными углами установки

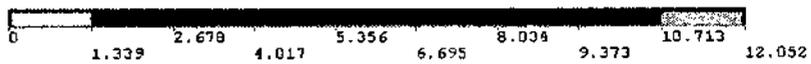
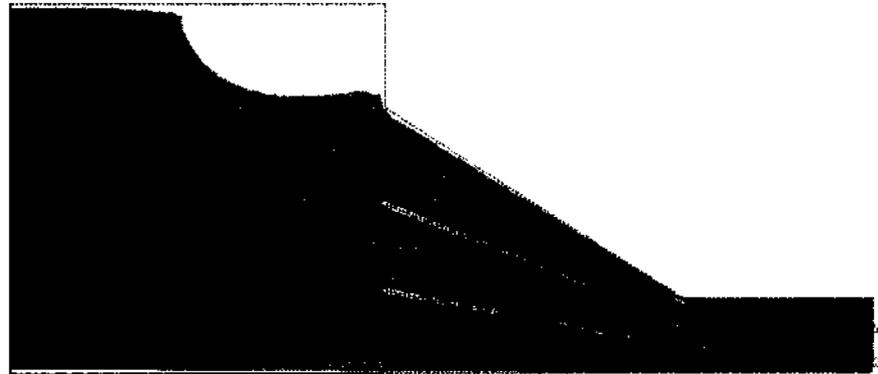
потолочного элемента водоприемной камеры, обеспечивающими наилучшие условия подвода воды в водовод с минимальными энергетическими потерями.

Следует отметить, что полученные результаты справедливы для водоприемного устройства, имеющего только единственную водоприемную камеру, т.е. односекционного типа. Вместе с тем, имеются конструктивные решения, в которых предусматривается использование потоконаправляющих устройств, устанавливаемых внутри водоприемной камеры [3]. Эти устройства играют роль разделителей водного потока, а водоприемное устройство ГЭУ превращают в водоприемник секционного типа. Секционная конструкция необходима в том случае, когда требуется устранить сбойное течение потока на подходе к водоприемной камере (размещение водоприемника под углом к основному направлению течения водного потока).

На рис. 6 и 7 представлен характер течения потока воды в водоприемном устройстве соответственно с одним и двумя разделителями потока при  $L = 4H$ .



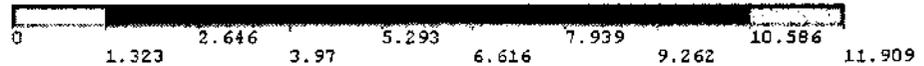
Р и с. 6. Характер течения потока воды в водоприемном устройстве с разделителем потока при  $L = 4H$  и  $\beta = 36^\circ$



Р и с. 7. Характер течения потока воды в водоприемном устройстве с двумя разделителями потока при  $L = 4H$  и  $\beta = 33^\circ$

Анализ результатов исследований показал, что скорости потока в различных сечениях отдельных полостей (отсеков) конфузорной камеры водоприемного устройства имеют практически одинаковый вид. Средняя скорость потока в верхней полости незначительно (на 3-5%) превышает среднюю скорость потока нижних полостей.

Проведены расчеты по выявлению влияния толщины разделителя потока. Их анализ показал существенное влияние толщины разделителя: с увеличением толщины средние скорости потока в полостях увеличиваются. Неравномерность потока воды в сечении водоприемного устройства за разделителем потока также возрастает. Наилучшие условия течения потока воды были получены при использовании разделителя потока переменной толщины с ее уменьшением к выходному сечению (рис. 8). При этом отмечается незначительное увеличение скоростей потока непосредственно на входном участке водоприемника из-за стеснения потока разделителем.



Р и с. 8. Характер течения потока воды в водоприемном устройстве с разделителем переменной толщины при  $L = 5H$  и  $\beta = 24^\circ$

Сопоставление результатов исследований водоприемного устройства ГЭУ с разделителями потока и без них показали, что размещение разделителей потока в водоприемной конфузорной камере существенного влияния на характер и условия течения потока воды в водоприемнике не оказывают, неравномерность потока за водоприемной камерой также практически не увеличивается и принимает значения в пределах 1,12-1,15. Диапазон углов наклона потолочного элемента, соответствующий энергосберегающим условиям, совпадает с интервалом оптимальных углов водоприемного устройства без разделителей потока.

Таким образом, в случае расположения водоприемного устройства ГЭУ под углом к основному направлению течения водного потока и необходимости устранить сбойное течение потока на подходе к водоприемной камере можно рекомендовать применять секционную конструкцию водоприемной камеры. Характер течения потока при этом практически не ухудшится, а, следовательно, потери энергии не увеличатся.

### ВЫВОДЫ

1. При работе водоприемного устройства ГЭУ использование водоприемной камеры со значительными величинами конфузорности (углами наклона потолочного

элемента  $\beta$  более  $35^\circ$ ) приводит к образованию сужения потока на входном участке водовода за конфузорным участком, появлению отрывных течений и водоворотных областей, приводящих к увеличению потерь энергии потока в водоприемном устройстве. Наибольшая неравномерность водного потока наблюдается на удалении около  $0,6H$  (высоты водовода) от входного сечения водовода. С увеличением  $\beta$  с  $35^\circ$  до  $90^\circ$  коэффициент неравномерности кинетической энергии потока  $\alpha$  возрастает с 1,15 до 1,53.

2. Применение водоприемной камеры с малой конфузорностью (углами наклона  $\beta$  менее  $28^\circ$ ) приводит к образованию сужения потока во входном участке самой водоприемной камеры и появлению в этой зоне отрывных течений и водоворотных областей, что также увеличит энергетические потери в потоке. При уменьшении угла  $\beta$  с  $28^\circ$  до  $0^\circ$  коэффициент неравномерности  $\alpha$  также возрастает с 1,15 до 1,52.

3. Наилучшие энергосберегающие условия течения потока воды в конфузорном участке водоприемной камеры, а следовательно наименьшие потери энергии, обеспечивают углы  $\beta$ , соответствующие диапазону  $28^\circ$ - $35^\circ$ , при которых поле скоростей потока воды наиболее равномерное как во входном участке водоприемной камеры, так и на входном участке водовода за конфузорным участком, этот диапазон следует считать оптимальным.

4. Установка разделителей потока в водоприемной камере водоприемного устройства ГЭУ влияния на условия течения потока воды в конфузорном участке, а следовательно и на потери энергии потока, практически не оказывает. Диапазон углов наклона потолочного элемента, соответствующий энергосберегающим условиям, совпадает с интервалом оптимальных углов водоприемного устройства без разделителей потока.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балзанников М.И., Елистратов В.В. Возобновляемые источники энергии. Аспекты комплексного использования – Самара: Изд-во ООО «Офорт», 2008. – 331 с.
2. Плыкин М. Аэродинамика – путь к победе // ANSYS Solutions. Русская редакция. – 2006. – № 2 (3). – С. 33-36.
3. Балзанников М.И., Евдокимов С.В., Галицкова Ю.М. Патент 2169229 Российской Федерации Водоприемник – водовыпуск, 2001. – Бюл. № 17.

## THE IMPACT RESEARCH OF WATER RECEIVING MEANS FOR APPLICATION ON HYDROPOWER PLANTS

*M. I. Balzannikov, V. A. Selivyorstov*

Samara State University of Architecture and Civil Engineering,  
194, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443001.

*The impact of flow divider of sectional water receiving means of hydropower plant was studied. For the purpose of hydropower plant water receiving means geometric parameters optimization the characteristics of water flow receiving means work area were obtained.*

**Key words:** *hydropower plant, water conduit, sectional water receiving means, overhead element, flower divider.*