

## ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ВЫХОДНОЙ ЧАСТИ НИЗКОНАПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РЕЖИМ В ОТВОДЯЩЕМ КАНАЛЕ

При резком увеличении площади сечения русла турбулентный поток отрывается от стенок русла, а между стенками и транзитным потоком образуются водоворотные области. В подобных случаях наблюдается сбойность течения. Между транзитным потоком и водоворотными областями происходит интенсивный обмен частицами. Увлекая частицы водоворотной области, транзитный поток замедляется и, постепенно расширяясь, заполняет все сечения русла. В сечении, где заканчивается водоворотная область, имеет место повышенная пульсация скоростей и давлений и сильно деформированная эпюра скоростей. На последующем участке происходит затухание пульсаций и выравнивание эпюры скоростей до тех пор, пока она принимает форму, соответствующую равномерному течению.

Для безнапорных потоков, находящихся в спокойном состоянии в размываемых руслах, участок, в пределах которого образуются водоворотные области и происходит выравнивание скоростей, подвержен размыву. И поэтому определение длины его представляет большой практический интерес.

В настоящей работе обобщаются результаты экспериментальных исследований по изучению гидравлического режима потока на начальном участке отводящего канала, проведенных на моделях низконапорных гидротехнических сооружений сотрудниками кафедры гидравлики БПИ в течение ряда лет. В этих исследованиях изучалось поле скоростей потока на начальном участке отводящего канала, что позволило установить длину участка потока, в пределах которой в основном завершилось выравнивание эпюры скоростей. Как показали исследования, длина этого участка зависит от формы сопряжения выходной части сооружения с отводящим каналом, равномерности распределения скоростей потока в выходном сечении и степени стеснения потока сооружением. Под ней условимся понимать выраженное в процентах отношение площадей живых сечений потока в выходном сечении сооружения  $\omega_c$  и в отводящем канале  $\omega_k$  в конце участка выравнивания скоростей в потоке ( $\frac{\omega_c}{\omega_k} 100\%$ ). При вычислении площадей  $\omega_c$  и  $\omega_k$  принималась одинаковая глубина потока, соответствующая глубине в конце участка выравнивания скоростей в нем.

Исследования по установлению длины участка переформирования скоростей в нижнем бьефе низконапорных сооружений производились на моделях шлюзов и паводковых водосбросов водохранилищ: "Селец" на р. Ясельда, "Петровичи" на р. Волма и "Дубровское" на р. Усяж.

Исследования гидравлического режима в нижнем бьефе низконапорных шлюзов проводились на моделях, выполненных в масштабе 1:15. Модели шлюзов устанавливались на канале шириной по дну  $b = 3,0$  м с коэффициентом откосов  $m = 2$  и глубиной  $h = 2,6$  м. Было исследовано четыре модели

шлюзов. Во всех моделях длина шлюза прямоугольного поперечного сечения составляла 6,0 м. Шлюз сопрягался с подводящим и отводящим каналами, симметричными в плане воронками. Размеры шлюзов и сопрягающих воронок приводятся в табл. 1.

Установлено, что длина участка переформирования скоростей в потоке зависит от степени стеснения потока шлюзом. При степени стеснения потока шлюзом, равной 50, 70, 80 и 90%, длина этого участка соответственно составила 22, 15, 8 и 5 м при расходах, равных 21,6; 31,5; 33,8 и 33,8 м<sup>3</sup>/с.

Лабораторные исследования гидравлического режима в нижнем бьефе паводкового водосброса водохранилища "Селец" на р. Ясельда производились на моделях трех вариантов сооружения. Сбросный тракт его включал водосливную часть, выполненную по типу водослива практического профиля, и донную трубу. Поток с водослива и донной трубы направлялся в двухочковую трубу, уложенную горизонтально в теле земляной плотины. Из трубы поток поступал в водобойный колодец глубиной  $d = 1,5$  м с односторонним углом расширения в плане  $\alpha = 11^{\circ}20'$  (1:5).

В первом варианте водосброса дно двухочковой трубы и дно водобойного колодца располагались на одной отметке. Во втором варианте двухочковая труба была поднята на 1,5 м, а отметки дна водобойного колодца и отводящего канала оставались прежними. Длина же водобойного колодца увеличилась на 5,8 м, что привело к увеличению ширины водобойного колодца на выходе и ширины по дну начального участка отводящего канала на расстоянии 46 м на 2,5 м. За пределами этого участка на длине 4,5 м ширина канала по дну уменьшалась до 10 м. Третий вариант представлял собой измененный второй вариант паводкового водосброса. В этой модели двухочковая труба была опущена на 1,5 м (как и в первом варианте), а водобойный колодец и отводящий канал оставались такими же, как и во втором варианте.

На рис. 1 представлен разрез и план выходной части первого варианта водосброса. Для первого варианта водосброса лабораторными исследованиями установлено, что расширяющийся в плане водобойный колодец прямоугольного сечения не обеспечивает равномерности распределения скоростей в выходном сечении. В этом случае наблюдается сбойность течения с образованием водоворотных областей в водобойном колодце и на значительной

Таблица 1

Размеры шлюзов и сопрягающих воронок

№ модели	Ширина шлюза, м	Размеры сопрягающих воронок		Степень стеснения потока шлюзов, $\frac{\omega_c}{\omega_k} 100\%$
		длина подводящей и отводящей воронок L, м	односторонний угол расширения воронки $\alpha^{\circ}$	
1	4,0	6,0	4,78	50
2	5,6	6,5	11,3	70
3	6,4	8,5	11,3	80
4	7,2	10,5	11,3	90

длине отводящего канала. Для устранения сбойности течения и получения более равномерного распределения скоростей в потоке при входе в отводящий канал экспериментальным путем были подобраны гасители энергии (см. рис. 1), состоящие из двух растекателей и водобойной стенки. Наличие указанных гасителей привело к устранению сбойности течения и сокращению длины участка переформирования до 40 м при степени стеснения потока сооружения 49% и расчетном расходе  $Q = 98,0 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Исследования второго варианта водосброса показали, что заглубление колодца относительно одинаковых отметок дна двухочковой трубы и от-

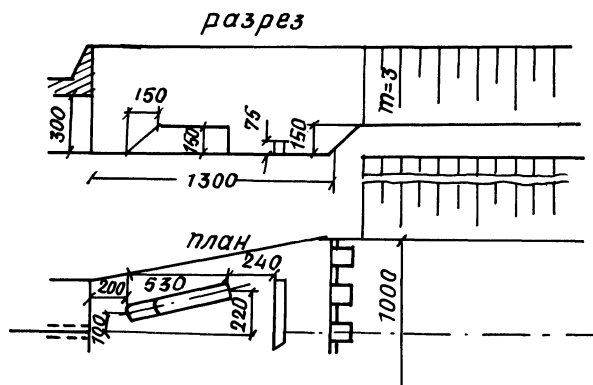


Рис. 1. Разрез и план выходной части первого варианта водосброса водохранилища "Селец" на р. Ясельда.

водящего канала при расчетном расходе не обеспечивает гашения избыточной энергии потока. В этом случае в водобойном колодце образуется поверхностный режим с застойной зоной в нем, и установка гасителей в водобойном колодце не оказывает влияния на гидравлический режим в нижнем бьефе. Уменьшение глубины в нижнем бьефе на 12% при том же пропускаемом расходе привело к образованию донного режима в водобойном колодце, при котором гасители энергии начинают оказывать влияние на гидравлический режим потока в нижнем бьефе. Второй вариант паводкового водосброса не обеспечивает благоприятного гидравлического режима в нижнем бьефе при расчетных гидравлических параметрах, поэтому он не может быть рекомендован для использования.

Лабораторными исследованиями 3-го варианта водосброса установлено, что равномерность распределения скоростей в выходном сечении водобойного колодца достигается посредством установки в нем специальной конструкции гасителей, аналогичной конструкции гасителей в первом варианте водосброса. Применение этих гасителей привело к практической ликвидации сбойности течения и сокращению длины участка переформирования скоростей в потоке до 32 м. В этом варианте степень стеснения потока сооружением по отношению к начальному участку отводящего канала шириной по дну  $b = 12,5 \text{ м}$  составила 56,7%. Необходимо отметить, что наличие сужающегося участка отводящего канала в этом варианте водосброса, рас-

положенного на расстоянии 46 м от водобойного колодца, практически не оказывает влияния на длину участка переформирования скоростей в потоке.

Гидравлические исследования паводкового водосброса водохранилища "Петровичи" проводились на моделях двух вариантов водосброса.

В первом варианте водосброс осуществлялся через водосливную плотину, после чего поток направлялся в четырехсекционную трубу, уложенную горизонтально в теле земляной плотины и сопрягающуюся (дно в дно) с водобойным колодцем прямоугольного сечения в плане, глубиной  $d = 1,3$  м, шириной  $b = 12,0$  м и длиной  $L = 20,0$  м. Из водобойного колодца поток поступал в призматический отводящий канал трапецеидального сечения шириной по дну, равной ширине водобойного колодца.

Лабораторными исследованиями первого варианта водосброса установлено, что в отводящем канале имела место значительная сбойность течения. При пропуске расчетного расхода  $Q = 92,0$  м<sup>3</sup>/с длина водоворотных областей в отводящем канале соответственно составила 48 и 22 м, а участок переформирования скоростей в потоке выходил за пределы длины моделируемого участка отводящего канала, равной 80 м. В этом случае степень стеснения потока сооружением составила 48%. Попытки устранить сбойность течения и сократить длину участка переформирования скоростей путем установки различной конструкции гасителей в водобойном колодце не привели к положительным результатам, так как на выходе из водобойного колодца имело место равномерное распределение скоростей в потоке в условиях отсутствия гасителей энергии.

Для улучшения гидравлического режима в нижнем бьефе в проектный вариант водосброса внесены изменения, в соответствии с которыми длина водобойного колодца уменьшена до 14 м, а в плане водобойный колодец выполнен расширяющимся, с односторонним углом расширения  $\alpha = 7^\circ$ . Сопряжение выходной части водобойного колодца с отводящим каналом выполнялось симметричным, сужающимся в плане участком канала. План выходной части измененного первого варианта водосброса представлен на рис. 2. Указанные изменения конструкции выходной части водосброса и начального участка отводящего канала привели к устранению сбойности течения в отводящем канале без применения гасителей энергии и к сокращению длины участка переформирования скоростей в отводящем канале до 32 м при степени стеснения потока сооружением 62%.

Второй вариант водосброса запроектирован по типу быстротока, который заканчивался прямоугольным в плане водобойным колодцем шириной  $b = 16$  м, длиной  $L = 17$  м и глубиной  $d = 1,0$  м. Из водобойного колодца поток направлялся в призматический отводящий канал трапецеидального сечения шириной по дну, равной ширине водобойного колодца, и с коэффициентом откосов  $m = 2,5$ .

Лабораторные исследования этого варианта паводкового водосброса показали, что при пропуске расчетного расхода на выходе с водобойного колодца наблюдалось равномерное распределение скоростей в потоке, а на начальном участке отводящего канала практически отсутствовала сбойность течения. Переформирование скоростей в потоке заканчивалось на участке длиной 32 м при степени стеснения потока сооружением 62%.

Водосброс на р. Усяж запроектирован в виде многоступенчатого перепада, состоящего из пяти ступеней. Лабораторные исследования проводились на модели, в которой моделировались три ступени перепада. Выходная ступень длиной  $L = 16,6$  м и шириной  $b = 18,1$  м сопрягалась (дно в дно) с призматическим каналом трапециевидального сечения шириной по дну  $b = 18,0$  м и коэффициентом откоса  $m = 2$ . Лабораторные исследования показали, что в выходном сечении ступени имеет место равномерное распределение скоростей, а в отводящем канале сбойность течения практически отсутствовала, длина водоворотных областей не превышала 4 м при пропуске расчетного расхода  $Q = 130$  м<sup>3</sup>/с. Длина участка переформирования скоростей в отводящем канале составила 18 м при степени стеснения потока сооружением 68%.

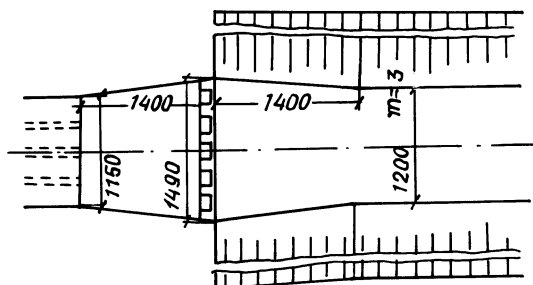


Рис. 2. План выходной части измененного первого варианта водосброса "Петровичи" на р. Волма.

Анализ результатов исследований, проведенных на одиннадцати моделях низконапорных гидротехнических сооружений, по изучению гидравлического режима на начальном участке отводящего канала позволяет сделать следующие основные выводы.

1. При сопряжении прямоугольного в плане водобойного колодца с призматическим отводящим каналом трапециевидального сечения шириной по дну, равной ширине водобойного колодца, гидравлический режим на начальном участке отводящего канала зависит от степени стеснения потока сооружением.

2. Сопряжение прямоугольной в плане выходной части сооружения с отводящим каналом посредством сужающейся в плане воронки приводит к ликвидации сбойности течения в отводящем канале и сокращению длины участка переформирования скоростей в потоке.

3. В случае сопряжения расширяющегося в плане водобойного колодца с призматическим отводящим каналом образуются водоворотные области в водобойном колодце и на значительной длине отводящего канала. Для устранения сбойности течения в этом случае необходимо либо в водобойном колодце устанавливать специальные конструкции гасители, либо прилегающий к колодцу участок отводящего канала выполнять сужающимся в плане. Удаление сужающегося участка отводящего канала от водобойного колодца снижает эффект улучшения гидравлического режима в нижнем бьефе.

4. Во всех упомянутых выше случаях, когда сбойность течения в отводящем канале практически отсутствует, длина участка переформирования скоростей в потоке сокращается с увеличением степени стеснения потока сооружением.