

ПУТИ СНИЖЕНИЯ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА КРУПНЫХ РЕКАХ БЕЛАРУСИ

Г.Г. Круглов, кандидат технических наук

М.М. Бычеля, студентка 4 курса

М.В. Панасюк, студентка 4 курса

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Беларусь

Ключевые слова: гидроузел, гидроэлектростанция, бетонная плотина, безвакуумный водослив, вакуумный водослив

Введение

В последние десятилетия во всем мире отмечается устойчивый интерес к вопросам использования возобновляемых энергоресурсов как нетрадиционных – солнечной, геотермальной, ветровой энергии, так и традиционных, к которым, в первую очередь, относится гидравлическая энергия рек. Это объясняется сокращением запасов органического топлива, постоянно растущими затратами на его добычу и увеличением его использования неэнергетическими отраслями хозяйства. Природные условия Республики Беларусь (незначительная среднегодовая скорость ветра $\leq 3,5$ м/с, малое число солнечных дней в году, отсутствие термальных источников) определяют выбор гидравлической энергии в качестве основного возобновляемого источника.

На сегодняшний день используется 12-15% экономически целесообразного гидроэнергетического потенциала рек Беларуси, что несопоставимо с показателями ведущих мировых держав. Для Беларуси интерес к развитию собственной гидроэнергетики обусловлен стремлением максимальной независимости от источников органического топлива за рубежом.

Основными первоочередными направлениями в использовании гидроэнергетического потенциала Республики Беларусь являются [1]:

- строительство гидроэлектростанций на крупных и малых реках республики;
- реконструкция и восстановление ранее построенных малых ГЭС;
- использование энергетического потенциала существующих водохранилищ неэнергетического назначения.

В республике накоплен достаточный опыт восстановления ранее построенных и строительства новых малых ГЭС, который позволил приступить к освоению гидроэнергетического потенциала крупных рек Беларуси: Западной Двины, Немана и Днепра. На этих реках имеются благоприятные природные условия: удобные створы, при использовании которых затопление прилегающих территорий сводится к минимуму, так как отметки НПУ будущих водохранилищ не будут превышать уровни паводковых вод в бытовых условиях.

На Западной Двине намечается сооружение каскада из четырех ГЭС: Верхнедвинской (установленной мощностью 29,0 МВт, Полоцкой (23,0 МВт), Бешенковичской (30,5 МВт) и Витебской (40,0 МВт); на Немане - из двух ГЭС: Гродненской (17,0 МВт) и Немновской (20,5 МВт); на Днепре – из трех ГЭС: Оршанской (4,9 МВт), Шкловской (5,5 МВт) и Могилевской (5,0 МВт).

В соответствии с государственной программой строительства гидроэлектростанций [2] уже введена в эксплуатацию Гродненская ГЭС, проектируется Немновская ГЭС, строятся Полоцкая и Витебская ГЭС.

В составе всех гидроузлов на крупных реках Беларуси в качестве паводковых водосбросов используются бетонные гравитационные плотины небольшой высоты с отметкой гребня водослива близкой к отметке меженного уровня воды в реке. Стоимость бетонных плотин составляет более 60 % от стоимости всех сооружений гидроузла. Если снизить стоимость плотин, это позволит существенно уменьшить затраты на строительство гидроэлектростанций на крупных реках. Приведем один из вариантов решения этой задачи на примере Полоцкой ГЭС.

Конструкция водосливной плотины Полоцкой ГЭС

В состав сооружений Полоцкой ГЭС на р. Западная Двина входят здание ГЭС, бетонная водосливная плотина и глухая земляная плотина.

В архитектурном проекте в качестве водосбросного сооружения рассматривались два варианта гравитационной плотины: безвакуумный водослив, очерченный по координатам Офицера-Кригера, и водослив, очерченный по координатам профиля Ямборга. В обоих вариантах предусматривалась десять водосливных отверстий шириной 12 м каждое (ширина водосливного фронта 120 м). На этапе строительного проекта, при разработке уточнения конструктивно-компоновочных решений по основным сооружениям был предложен вариант гравитационной водосливной плотины, очерченной по координатам Офицера-Кригера, с шестью водосливными отверстиями шириной 20 м каждое и высотой отверстия при НПУ – 6,8 м, и вариант плотины, очерченной по координатам профиля Ямборга с шестью отверстиями по 20 м шириной каждое и высотой при НПУ – 8 м. Переход от десяти водосливных отверстий по 12 м к шести по 20 м обусловлен тем, что в соответствии с действующим ТКП [3] при общем числе водосливных пролетов больше шести необходимо устраивать дополнительно один резервный водосливной пролет.

Обе водосливные плотины должны обеспечивать в подтопленном режиме пропуск значительных паводковых расходов (расчетный паводок 3 %-ой обеспеченности 3750 м³/с и поверочный – 0,5 %-ой обеспеченности – 5000 м³/с), пропуск льда, наносов и надежное гашение кинетической энергии потока в нижнем бьефе. Для выбора окончательного варианта водосливной плотины и проверки принятых конструктивных решений потребовались гидравлические исследования этих типов плотин на физических моделях.

Эти исследования были выполнены в гидравлической лаборатории кафедры гидротехнического и энергетического строительства Белорусского национального технического университета [4], на основании которых в качестве основного варианта была принята водосливная плотина, очерченная по координатам Офицерова-Кригера, приведенная на рис. 1.

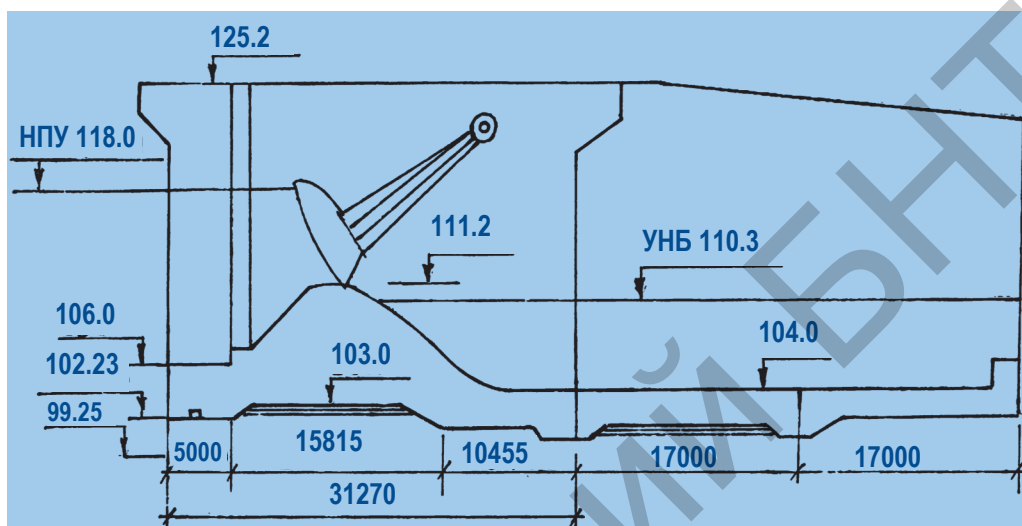
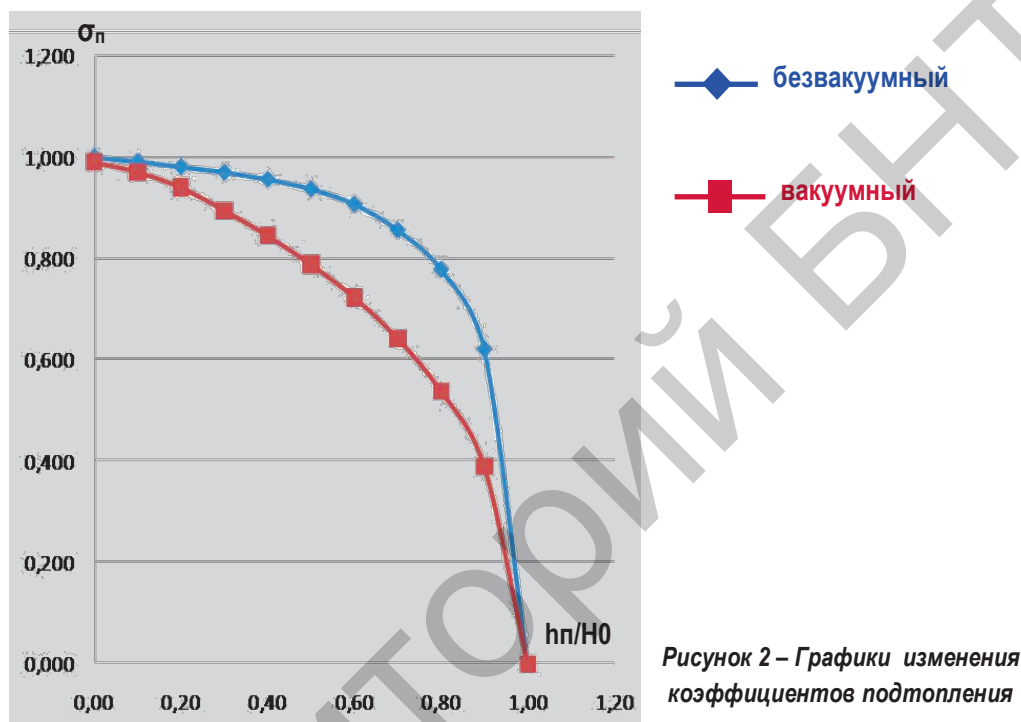


Рисунок 1 – Продольный разрез по оси водосливной плотины

Ширина подошвы плотины 31,27 м, высота плотины 5,2 м, отметка гребня водослива 111,2 м всего на 0,9 м выше минимального уровня воды в нижнем бьефе. Высота водосливного отверстия при НПУ 118,0 м – 6,8 м. Пролеты перекрыты сегментными затворами 20 м × 7 м. в верхней части затвора имеется клапан, высотой 2 м, предназначенный для сброса льда в нижний бьеф с минимальными потерями воды из водохранилища. Отметка форсированного подпорного уровня при пропуске расчетного паводка 120,7 м, при отметке уровня нижнего бьефа 120,4 м, а при пропуске поверочного паводкового расхода – 122,3 м, при отметке нижнего бьефа – 121,8 м. Как видно, пропуск паводковых расходов осуществляется при значительном подтоплении водослива.

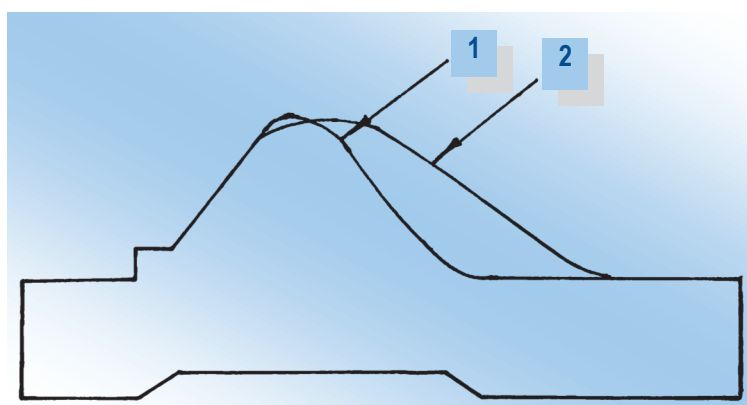
При принятых размерах водосливных отверстий (ширине 20 м и высоте 6,8 м) пропускная способность их существенно зависит от коэффициента расхода и коэффициента подтопления. Максимальное значение коэффициента расхода безвакуумного водослива, очерченного по координатам Офицерова-Кригера, 0,49, а вакуумного водослива, очерченного по координатам Н.П. Розанова, - 0,577, что позволяет при одинаковых размерах водосливных отверстий уменьшить ширину водосливного фронта, а значит и длину плотины на 15% (для Полоцкой ГЭС - на 18 м). Но этот эффект может быть достигнут только при неподтопленном истечении через водослив. Однако вакуумные неподтопленные водосливы не получили широкого распространения в связи с тем, что при пропуске расходов воды на значительной части водосливной поверхности возникает вакуум. В зоне вакуума на

водосливной поверхности может развиваться кавитационная эрозия бетона, а при срыве вакуума (при попадании в эту зону воздуха) водосливная поверхность подвергается значительным гидродинамическим нагрузкам. Как только водослив подтапливается его пропускная способность снижается, причем это снижение у вакуумных водосливов идет интенсивнее чем у безвакуумных, что подтверждается графиками изменения коэффициентов подтопления, приведенными на рис. 2.



Таким образом, сократить длину водосливной плотины Полоцкой ГЭС путем замены безвакуумного водослива на вакуумный не представляется возможным, так как пропуск паводковых расходов осуществляется в подтопленном режиме.

Экономия в объеме бетона можно получить не только за счет уменьшения длины плотины, но и при одинаковой длине за счет более обжатого профиля вакуумного водослива по сравнению с безвакуумным. На рис. 3 приведен принятый в строительном проекте поперечный разрез безвакуумной водосливной плотины Полоцкой ГЭС, очерченный по координатам Офицера-Кригера, и профиль вакуумного водослива, построенного по координатам Н.П. Розанова, для тех же размеров водосливных отверстий. Как видно для принятой конструкции плотины вакуумный водослив дает экономию в объеме бетона более 16%, а значит и снижение стоимости водосливной плотины. Однако этот эффект может быть использован только в том случае, когда будет исключена опасность разрушения водосливной поверхности, связанная с образованием на ней вакуума.



1 – по координатам Н.П. Розанова
2 – по координатам Офицера-Кригера
Рисунок 3 – Поперечные профили водосливов

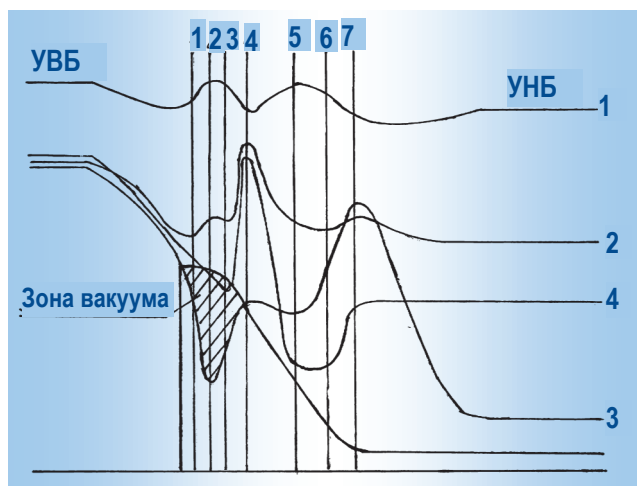
Таким образом, необходимо было изучить работу вакуумного водослива при различных режимах истечения. С этой целью в лаборатории кафедры гидротехнического и энергетического строительства были выполнены исследования работы вакуумного водослива. На модели водослива, приведенной на рис. 4, было установлено семь пьезометров, по показаниям которых определялось давление на водосливной поверхности. Модель была установлена в гидравлическом лотке, регулирование расходов, поступающих на модель, осуществлялось при помощи задвижки на подающем трубопроводе, а регулирование уровней воды в нижнем бьефе осуществлялось с помощью жалюзи на выходе из лотка. Для измерения отметок уровней воды на бортах лотка была установлена мерная игла. Точность измерения отметок уровней воды с помощью мерной иглы – 0,1 мм.

Задача исследований предусматривала изучение следующих режимов истечения через водослив:

- неподтопленное истечение при полностью открытом водосливном отверстии, когда уровень воды в нижнем бьефе устанавливается значительно ниже отметки гребня водослива;
- неподтопленное истечение из-под частично поднятого затвора;
- подтопленное истечение при полностью открытом водосливном отверстии, когда уровни воды в нижнем бьефе устанавливались на нескольких отметках, превышающих отметку гребня водослива, а гидравлический прыжок был надвинутым;
- подтопленное истечение из-под частично поднятого затвора;

Результаты исследований приведены на рис. 4, где представлено по одной кривой давления на поверхность водослива для каждого из перечисленных выше режимов истечения.

Анализ результатов исследований показывает, что при неподтопленном истечении при полностью или частично открытом водосливном отверстии на водосливной поверхности возникает вакуум. При поднятии уровня воды в нижнем бьефе выше отметки гребня и подтоплении водослива вакуум на водосливной поверхности не образуется как при полностью открытом отверстии, так и при истечении из-под затвора.



- 1 – подтопленное истечение при полностью открытом отверстии;
- 2 - подтопленное истечение из-под частично поднятого затвора;
- 3 - неподтопленное истечение при полностью открытом отверстии;
- 4 - неподтопленное истечение из-под частично поднятого затвора.

Рисунок 4 –Кривые давлений на водосливную поверхность

Пропуск расчетного и поверочного паводковых расходов на Полоцкой ГЭС осуществляется в режиме подтопленного истечения (разница в отметках уровней верхнего и нижнего бьефов не превышает 30 см).

Через турбины Полоцкой ГЭС пропускается расход 300 м³/с. Расходы, превышающие 300 м³/с, могут пропускаться через частично открытое водосливное отверстие, для которого опытным путем получен график пропускной способности отверстия при его частичном открытии [5]. Уже при подъеме затвора на 1 м в нижний бьеф пропускается 200 м³/с, что в сумме с расходом ГЭС составляет 500 м³/с. Уровень нижнего бьефа при таком расходе превышает отметку гребня водосливной плотины, и режим истечения становится подтопленным. Кроме того, расходы, незначительно превышающие расход ГЭС, могут пропускаться путем перелива через клапан, что исключает необходимость частичного подъема затвора.

Таким образом, водосливная плотина Полоцкой ГЭС может всегда работать в подтопленном режиме, что позволяет заменить безвакуумный профиль водослива на вакуумный.

Аналогичным образом работает и водосливная плотина Гродненской ГЭС. Кроме того, для водосливных плотин гидроэлектростанций на крупных реках республики обязательно проводятся гидравлические исследования на физических моделях, в ходе которых можно изучить все возможные эксплуатационные режимы истечения и запроектировать вакуумный водослив таким образом, что он всегда будет работать в подтопленном режиме.

Выводы

1. Если во всех эксплуатационных режимах водосливная плотина пропускает паводковые расходы в режиме подтопленного истечения, то очертание водосливной поверхности может выполняться по координатам Н.П. Розанова.

2. При замене водосливной плотины Полоцкой ГЭС, очерченной по координатам Офицера-Кригера, на водосливную плотину, очерченную по координатам Н.П. Розанова, экономия составит 4100 м³ бетона.

3. При стоимости одного кубометра бетона плотины Полоцкой ГЭС 2 167 000 руб. (в ценах 2006 г.) экономический эффект составит 8 886 867 тысяч рублей.

Библиографический список

1. Альферович, А.Н. Современное состояние и возможные пути развития гидроэнергетики Беларуси / А.Н. Альферович, П.М. Богославчик, Л.А. Гриневич, Г.Г. Круглов, Н.В. Сеницын // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – №3-4. –1993.
2. Государственная программа строительства в 2011-2015 годах гидроэлектростанций в Республике Беларусь. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 17.12.2010 г. №1838.
3. ТКП 45-3.04-169-2009 (02250). Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования. –Минск, 2010.– 41 с.
4. Круглов, Г.Г. Гидравлические исследования водосливной плотины профиля Ямборга Полоцкой ГЭС / Г.Г. Круглов, Н.Н. Линкевич, А.И. Рудько, Ю.С. Машук // Энергетика: известия высших, учебных, заведений и энергетических объединений СНГ. – №4.– 2012.
5. Гидравлические исследования двух вариантов водосливной плотины Полоцкой ГЭС: заключительный отчет о НИР.– Минск, 2011.

Summary

G. Kruglov, M. Bychenya, M. Panasjuk

HOW TO REDUCE CONSTRUCTION COST OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS ON THE MAJOR RIVERS OF BELARUS

Hydraulic research was carried out to test the flow through the vacuum spillway in the case when spillway whole is opened completely or partially. The curves of the pressure distribution on the spillway surface are obtained. The use of dams designed according to coordinates of N.P. Rozanov is possible in building hydropower stations on the rivers of Belarus. Vacuum-free spillway was replaced by vacuum spillway in the water station of Polotsk hydroelectric power station, the economic effect of such replacement is demonstrated in the article.

Поступила 1.10.2015