

УДК626.01

## СРАВНЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КРЕПЛЕНИЯ КОНЦЕВОЙ ЧАСТИ ВОДОСБРОСА

Е.Э. Иванова

## COMPARISON OF STRUCTURES OF FASTENING OF THE ENDING PART OF WATER SPILLWAY

E.E. Ivanova

**Аннотация.** В статье на примере Колымской ГЭС рассчитаны три варианта крепления концевой части водосброса: с консольным перепадом; с водосбросным колодцем; и с носком-трамплином. Далее сопоставлены. Так же сделано обоснование использования носка-трамплина на концевой части водосброса Колымского гидроузла.

**Ключевые слова:** концевая часть водосброса; консольный перепад; носок – трамплин; водобойный колодец; максимальные сбросные расходы.

**Abstract.** In the article, using the example of the Kolyma hydroelectric power station, three options for fastening the end part of the spillway are calculated: with a spillway; and with a springboard toe. Further compared. The rationale for the use of a toe-springboard at the end of the spillway of the Kolyma hydroelectric complex is also made.

**Keywords:** the end of the spillway; cantilever differential; toe springboard; water well, maximum discharge costs.

### Введение

Объектом изучения является Колымский гидроузел (годы строительства 1970-1996). В состав сооружения входит каменно-набросная плотина высотой 131 м, созданная для обеспечения электроэнергией и водой население, а также, горнодобывающей и пищевой промышленности, водоприемник ГЭС и водосброс с общим подводящим каналом, подземное здание ГЭС, ЗРУ 220 кВт [1, 2].

Колымская ГЭС является основой энергосистемы Магаданской области, она производит 95% электроэнергии в регионе. Имеет самую высокую в России каменно-набросную плотину, а также является самой мощной гидроэлектростанцией с подземным расположением машинного зала. Годовая выработка электроэнергии 3325 млн. кВт·ч. Конструктивно ГЭС представляет собой плотинную высоконапорную гидроэлектростанцию. Установленная мощность 900 МВт [3, 4].

Водосброс Колымской ГЭС поверхностный, берегового типа, расположен слева от плотины в скальной выемке и примыкает к водоприёмнику здания ГЭС. Водосброс бетонный, состоит из трёхпролётного водослива и быстротоков, заканчивающихся носком-трамплином.

Целью работы является сравнение конструкций крепления концевой части водосброса для трех вариантов:

- с консольным перепадом
- водобойный колодец
- носок - трамплин

Далее будет использована методика, предложенная в статье [5] для похожего исследования.

Исходными послужили данные о максимальных сбросных расходах и параметрах сооружений водосбросного тракта Колымского гидроузла. В качестве расчетных принят расход  $8000 \text{ м}^3/\text{с}$ . Сопрягающее сооружение – быстроток, имеющий три секции, каждая

шириной 13 м. Отметка уровня воды на входе в быстроток  $\nabla 419$  м, отметка дна реки  $\nabla 333$  м[6].

### Расчет трех вариантов концевой части водосброса

*1 вариант* – гидравлический расчет концевой части водосброса с консольным перепадом (рис.1). Его используют при неразмываемых грунтах в отводящем русле, крутых берегах, когда в русле нет достаточного места для размещения водобоя и рисбермы.

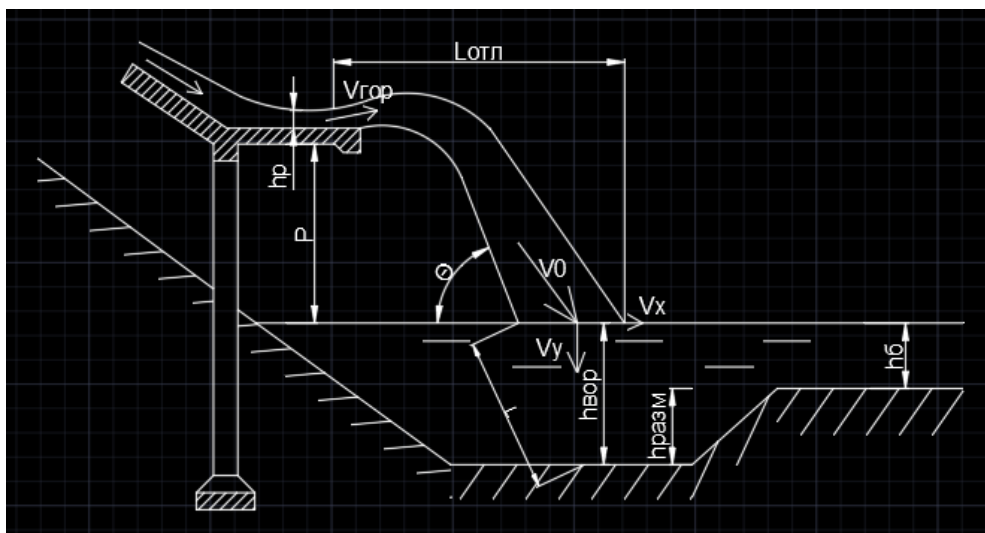


Рисунок 1 – Расчетная схема концевой части водосброса с консольным перепадом

Формулы для расчета первого варианта концевой части водосброса взяты из [7].

По длине горизонтального участка устанавливается кривая подпора. Глубину воды на сливном ребре можно принять равной глубине в конце быстротока.

Скорость схода воды со сливного ребра:

$$V_{гор} = \frac{q}{h_p} = \frac{205,1}{3,87} = 52,997 \frac{м}{с},$$

где  $q$  – допустимый удельный расход в концевой части водосброса, назначаем в зависимости от грунта в русле реки;  $h_p$  – глубина воды на сливном ребре

Поток на уровне воды в НБ имеет скорость:

$$V_x = \varphi \cdot V_{гор} = 0,94 \cdot 52,997 = 49,818 \frac{м}{с};$$
$$V_y = \varphi \cdot \sqrt{2g \cdot (p + h_p)} = 0,94 \cdot \sqrt{19,62 \cdot (2 + 3,87)} = 10,088,$$

где  $\varphi$  – коэффициент, зависящий от высоты падения струи;  $p$  – высота перепада

Скорость входа струи в воду:

$$V_0 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = 50,829 \frac{м}{с}$$

Угол входа струи в воду:

$$\tan \theta = \frac{V_y}{V_x} = 0,202;$$
$$L = 1,4q \cdot \lg \left( \frac{V_0}{\alpha \cdot V_{\text{доп}}} \right) = 436,1 \text{ м};$$
$$h_{\text{вор}} = L \cdot \sin \theta = 90,6 \text{ м}.$$

Глубина размыва грунта:

$$h_{\text{разм}} = h_{\text{вор}} - h_6 = 78,6 \text{ м}.$$

Дальность отлета струи:

$$L_{\text{отл}} = \frac{V_{\text{гор}}}{\sqrt{\frac{g}{2 \cdot (p+h_p)}}} = 57,98 \text{ м}.$$

2 вариант - гидравлический расчет водобойного колодца (рис.2). Он состоит в определении его глубины и длины. Ширина колодца принята такой же, как и ширина лотка, и только после колодца принят переходный участок для расширения сооружения для сопряжения его с руслом реки, так как расширение в зоне бурного режима имеет больше предпосылок для образования нежелательного сбойного течения.

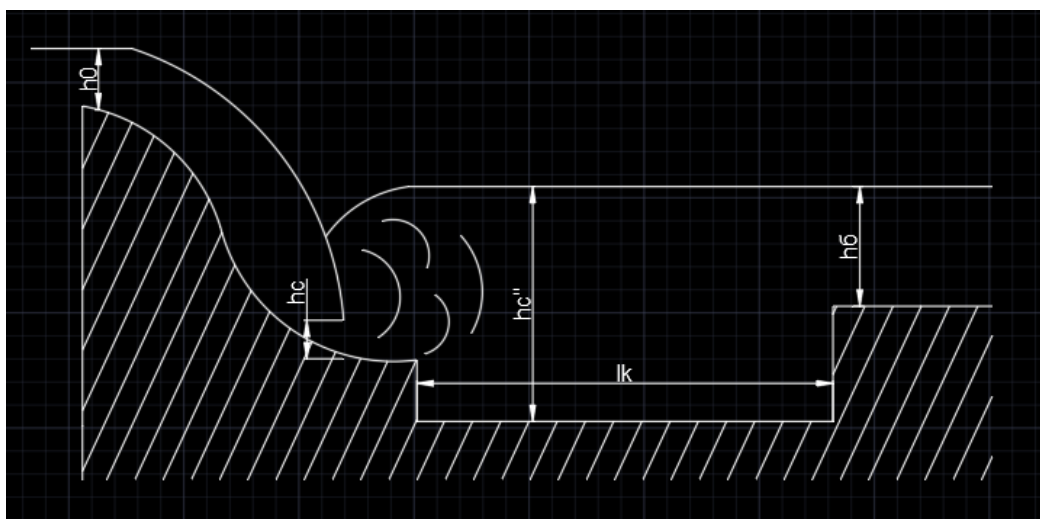


Рисунок 2 – Расчетная схема водобойного колодца

Формулы для расчета второго варианта концевой части водосброса взяты из [8].

Цель расчета с донным сопряжением струи – глубина колодца (или высота стенки), длина водобоя, его толщина, длина рисбермы. Для расчета параметров водобоя (прямоугольного поперечного сечения) вначале определяем высоту гидравлического прыжка по формуле:

$$h_c'' = 0,5 \cdot h_c \cdot \left( \sqrt{1 + \frac{8 \cdot \alpha \cdot q^2}{g \cdot h_c^2}} - 1 \right) = 0,5 \cdot 3,83 \cdot \left( \sqrt{1 + \frac{8 \cdot 1,1 \cdot 205,1^2}{9,81 \cdot 3,83^2}} - 1 \right) = 47,75 \text{ м};$$
$$h_c = h_0 = 3,87,$$

где  $\alpha$  - коэффициент запаса, принимаем равным 1,10;  $q$  – удельный расход,  $q = 205,1 \text{ м}^3/\text{с}$

Далее, принимая схему водобоя с колодцем, определяем его глубину:

$$d = 1,1 \cdot h_c'' - h_6 = 1,1 \cdot 47,75 - 12 = 40,53 \text{ м.}$$

Длина водобойного колодца:

$$l_k = 4h_c'' + h_6 = 4 \cdot 47,75 + 12 = 203 \text{ м.}$$

3 вариант – гидравлический расчет концевой части водосброса с носком-трамплином (рис.3) используют для улучшения условий в нижнем бьефе, который позволяет откинуть струю не горизонтально, а под углом вверх. Благодаря этому, струя отбрасывается дальше от сооружения и уменьшается глубина размыва русла. Гашению энергии так же способствует рассеивание струи в воздухе.

Методика расчета третьего варианта концевой части водосброса взяты из [9].

В данной работе исходными являются отметки уровня воды в реке  $\Delta_{\text{вод}} = 345$  м, дна реки  $\Delta_{\text{д}} = 333$  м, воды на входе в быстроток  $\Delta_6 = 419$  м, воды на сходе с трамплина  $\Delta_{\text{тр}} = 348$  м.

Расстояние от горизонта ВБ до дна бьефа  $S = \Delta_6 - \Delta_{\text{д}} = 86$  м.

Расстояние от горизонта ВБ до носка  $S_1 = \Delta_6 - \Delta_{\text{тр}} = 71$  м.

Перепад, исправленный на скорость подхода  $z_0 = \Delta_6 - \Delta_{\text{вод}} = 74$  м.

В расчетах использована формула, полученная профессором А.Н.Патрашевым для вертикально падающей струи в условиях несвязанного грунта [10]:

$$t_0 = 3,9 \cdot \sqrt{q} \cdot \sqrt[4]{\frac{z_0}{d_m}} = 65,1 \text{ м,}$$

где  $t_0$  – полная глубина в НБ с учетом глубины воронки размыва;  $q$  – расход водослива;  $d_m$  – диаметр зерен грунта

Дальность отлета струи  $L$  (до встречи со свободной поверхностью, дном до размыва или дном ямы разливы), отброшенной с трамплина в конце водослива, быстротока определена по формуле:

$$l = 2\varphi^2 \cdot n \cdot S \cdot \cos \alpha \cdot \left( \sin \alpha + \sqrt{\sin^2 \alpha + \frac{t_0 \cdot \cos \alpha + 2S \cdot (1 - n)}{2\varphi^2 \cdot n \cdot S}} \right) = 104,8 \text{ м,}$$

где  $\varphi$  – коэффициент скорости;  $\alpha$  – угол наклона носка к горизонту;

$$n = \frac{S_1}{S}.$$

В таблице представлена сводная информация для всех конструкций.

Таблица – Параметры конструкций концевой части

	Водобойный колодец	Консольный перепад	Носок - трамплин
Длина/ширина, м	203	90,6	-
Глубина, м	40,5	78,6	65,1
Отлет струи, м	-	58	104,8

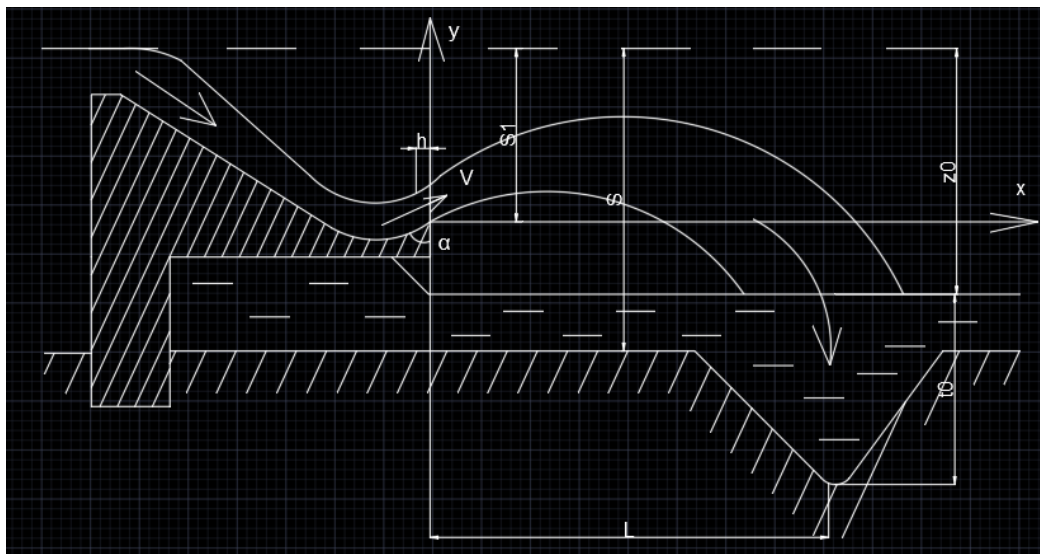


Рисунок 3 – Концевая часть водосброса с носком – трамплином

### Заключение

Анализ полученных данных показал, что при данных грунтах и высоте плотины, лучшим вариантом конструкции концевой части является носок – трамплин. Как мы видим, водобойный колодец имеет слишком большие габариты, а консольный перепад размывает грунты на большую глубину, т.к. отлет струи в 2 раза меньше, чем у носка – трамплина.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Доработка проекта правил использования водных ресурсов Колымского водохранилища. Этап №3. Пояснительная записка к проекту «Правила использования водных ресурсов Колымского водохранилища на р. Колыма». РусГидро, 2011. 114 с.
2. Гидроузлы на р. Колыма [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lhp.rushydro.ru/company/objectsmap/5689.html> (дата обращения: 01.11.2020).
3. РусГидро. Колымская ГЭС [Электронный ресурс]. URL: <https://russos.livejournal.com/1384978.html> (дата обращения: 01.12.2020).
4. Колымская ГЭС имени Фриштера Ю.И. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kolymaenergo.rushydro.ru/hpp/general/108681.html> (дата обращения: 01.12.2020).
5. Аубакирова Ф.Х. Гашение избыточной энергии потока в водосбросных сооружениях при различных режимах сопряжения бьефов // Природообустройство. 2015. № 21. С. 37-41
6. Проект ПТЭБ Колымского водохранилища. Утвержден приказом Федерального агентства водных ресурсов. Москва: Минюст, 2012. 87 с.
7. Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И. Гидравлика: учебник. Москва: Энергия, 1964. 352 с.
8. Справочник по гидравлическим расчетам / Ред. П.Г. Киселев. Москва: Энергия, 1972. 312 с.
9. Гришин М.М., Слисский С.М., Антипов А.И. и др. Гидротехнические сооружения: учебник. Москва: Высшая школа, 1979. 615 с.
10. Патрашев А.Н. Определение максимальной глубины размыва грунта ниспадающей струей // Известия научных исследований института гидротехники. Москва, 1937. С. 50-58.

## LITERATURE

1. *Dorabotkaproektapравilispol'zovaniyavodnyhresursovKolym'skogovodohranilishcha. Etap3. Poyasnitel'nayazapiska k proektu «Pravilaispol'zovaniyavodnyhresursovKolym'skogovodohranilishchana r. Kolyma»* [Finalization of the draft rules for the of water resources of the Kolyma reservoir. Stage 3. Explanatory note to the draft "Rules for the use of water resources of the Kolyma reservoir on the river]. Kolyma .RusGidro, 2011.114 p.
2. *Gidrouzlyna r. Kolyma* [Waterworks on the river. Kolyma [Electronic resource]. URL:<http://www.lhp.rushydro.ru/company/objectsmmap/5689.html> (date of access: 01.12.2020).
3. *RusGidroKolym'skaya GES*[RusGidroKolyma HPP]. [Electronic resource]. URL:<https://russos.livejournal.com/1384978.html> (date of access: 01.12.2020).
4. *Kolym'skaya GES imeniFrishteraYu.I.* [Kolyma HPP named after FrishterYu.I.]. [Electronic resource]. URL: <http://www.kolymaenergo.rushydro.ru/hpp/general/108681.html> (date of access: 01.12.2020).
5. *Aubakirova F.H. Gashenieizbytochnojenergiipotoka v vodosbrosnyhsooruzheniyahprirazlichnyhrezhimahsopryazheniyab'efov*[Extinguishing the excess energy of the flow in the spillway structures in different modes of conjugation of the ponds].*Prirodoobustrojstvo*. 2015. No 21,pp. 37-41.
6. *Proekt PTEB Kolym'skogovodohranilishcha* [Project PTEB of the Kolyma reservoir]. *UtverzhdenprikazomFederal'nogoagentstvavodnyhresursov*. Moscow: Minyust, 2012.87 p.
7. *AgroskinI.I., DmitrievG.T., PikalovF.I. Gidravlika: uchebnik*[Hydraulics: textbook]. Moscow: Energiya, 1964. 352 p.
8. *Spravochnikpogidravlicheskimraschetam*[Handbook of hydraulic calculations]. Edit. P.G. Kiselev. Moscow: Energiya, 1972.312 p.
9. *GrishinM.M., SlisskijS.M., Antipov A.I. i dr. Gidrotekhnicheskiesooruzheniya: uchebnik*[Hydraulic structures: textbook]. Moscow: Vysshayashkola, 1979. 615 p.
10. *Patrashev A.N. Opredeleeniemaximal'nojglubinyrazmyvagruntanispadayushchejstruej* [Determination of the maximum depth of soil erosion by a falling jet]. *Izvestiyanauchnyhissledovaniijnstitutagidrotekhniki*. Moscow, 1937,pp. 50-58.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Иванова Евгения Эдуардовна*

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия, студент второго курса магистратуры строительного факультета, направление подготовки «Природообустройство и водопользование»,

E-mail: [nihatka97@gmail.com](mailto:nihatka97@gmail.com)

*Ivanova Evgenia Eduardovna*

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, second-year student of the master's degree at the Faculty of Civil Engineering, specialization in Environmental Engineering and Water Management,

Email: [nihatka97@gmail.com](mailto:nihatka97@gmail.com)

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с автором статьи:  
236022, Россия, Калининградская обл., Гурьевский р-н, пос. Васильково, Калининградский пер., д. 4, кв. 215. Иванова Е.Э.  
8(911)853-65-26