

УДК 502/504 : 627.83

АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ГЛУБИННОГО ВОДОСБРОСА НА ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЯВЛЕНИЯ КАВИТАЦИИ

Поступила 09.12.2016 г.

© **Зимнюков Владимир Анатольевич, Зборовская Марина Ильинична, Зайцев Антон Иванович**
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
 «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Россия

ANALYSIS OF THE HYDRAULIC CONDITIONS OF THE DOWNHOLE SPILLWAY TO POSSIBILITY OF THE CAVITATION

Received on December 09, 2016

© **Zimniukov Vladimir Anatolevich, Zborovskaia Marina Ilinichna, Zaitsev Anton Ivanovich**
 Federal state budget educational institution of higher education
 «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russia

Исследуется работа высоконапорного глубинного водосброса с сегментным затвором, наличием порога и диффузорной несимметричной отводящей частью с определением возможности возникновения кавитации. В качестве рабочего случая рассматривается пропуск паводка. Выявляются причины возникновения кавитации в отводящем водосбросном тракте с определением скоростного режима и изучением пьезометрических напоров в расчетных створах на основе данных, полученных при работе модели водосброса масштаба М 1:50. В результате анализа полученных данных установлено, что при заданных условиях работы кавитация будет возникать при наличии любого потенциального возбудителя в безнапорной части водосброса. Для обеспечения безаварийной эксплуатации водосброса необходимо изменить конструкцию отводящей части или изменить характеристики потока воды (например, задействовать аэраторы).

Ключевые слова: Курпсайский гидроузел, глубинный водосброс, кавитация, модельные исследования, модель глубинного водосброса, гидравлические исследования, скорость потока.

Введение. При скоростях потока до 15 м/с такие явления, как кавитация, аэрация и пульсационные нагрузки, не оказывают существенного влияния на нормальную работу сооружения и поэтому при проектировании обычно не учитываются. При скорости потока более 25 м/с, для обеспечения нормальной работы водопропускных сооружений, необходимо принимать особые меры по учету воздействия кавитации. Проекти-

Studying the work of the deep spillway with segment gate, the presence threshold and asymmetric diffuser outlet part with the determination of possibility appearance of cavitation. As a working case is regarded a pass a high water. Identified the causes of occurrence of cavitation in the offtake spillway tract with the definition of high-speed mode, and the study of piezometric pressure in the calculated alignments, based on data obtained by the model scale 1:50 M spillway. As a result of analysis of the data revealed that under the given working conditions cavitation will occur in the presence of any potential exciter in the pressureless part of the spillway. To ensure safe operation of the spillway is necessary to change the construction of the outlet or change the characteristics of the water flow (for example, use aerators).

Keywords: Kurpsai waterworks, deep spillway, cavitation, modeling studies, model of the deep spillway, hydraulic researches, flow velocity.

рование высоконапорных водосбросов без учета указанных особенностей высокоскоростных потоков может привести к тяжелым повреждениям и авариям на водосбросных сооружениях [1, и 2]. Согласно [9, с. 57], предполагается, что интенсивность кавитационной эрозии зависит от скорости в степенной зависимости с показателем степени от 4 до 8,5. И вопрос требует дальнейшего уточнения. Глубинный водосброс Курпсайской

ГЭС (рисунок 1) предназначен для пропуска паводков из водохранилища в нижний бьеф при проектном расчетном расходе $Q_H = 1037 \text{ м}^3/\text{с}$ при НПУ [2, 3, 4, 5].

Несмотря на то, что максимальный расход воды, пропускавшийся через во-

досброс, составил $Q_H = 600 \text{ м}^3/\text{с}$ (что составляет 58% от проектного расчетного расхода), в отдельных зонах водосброса возникла кавитационная эрозия [4, с. 3], зоны которой на рисунке 1 заштрихованы (*****).

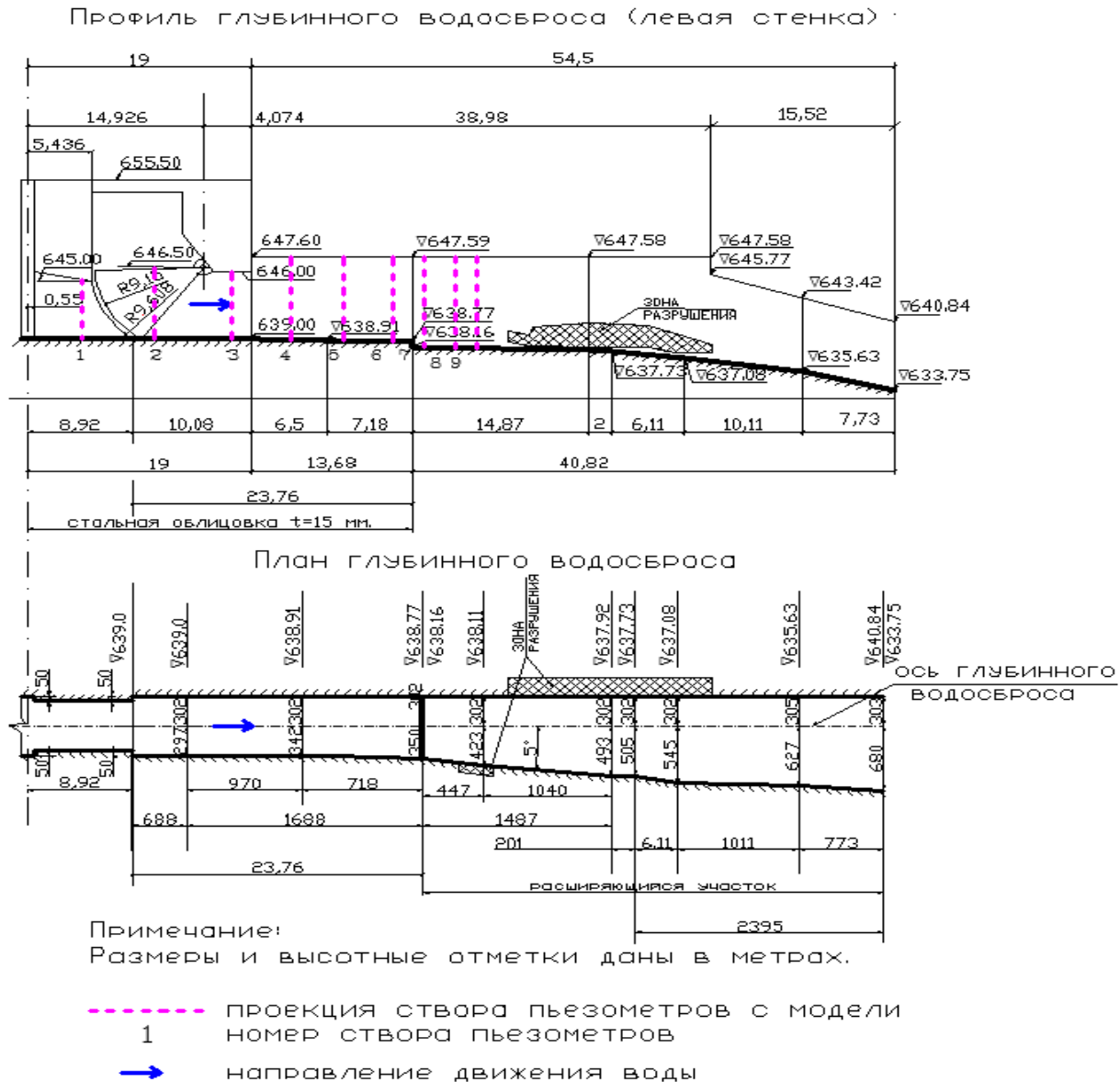


Рис. 1. Затворная камера и диффузорный участок глубинного водосброса

Материалы и методы исследований. По результатам обследования водосброса после пропуска максимально пропускавшегося расхода в $Q_H = 600 \text{ м}^3/\text{с}$ в 2003 и 2004 годах установили следующее [10]: из-за неровностей и выступов бетонной поверхности водосброса возможно появление локальных кавитационных зон, но неоднократное образование на протяжении многих лет

крупных (до 1,5 м в глубину) кавитационных каверн в одних и тех же местах свидетельствует о том, что причина появления кавитационной эрозии носит систематический характер и связана не только с дефектами бетонной поверхности, но и с гидравлическим режимом работы водосброса. В связи с этим, представляет интерес изучение гидравлических особенностей работы глубинного водосброса с точки зрения

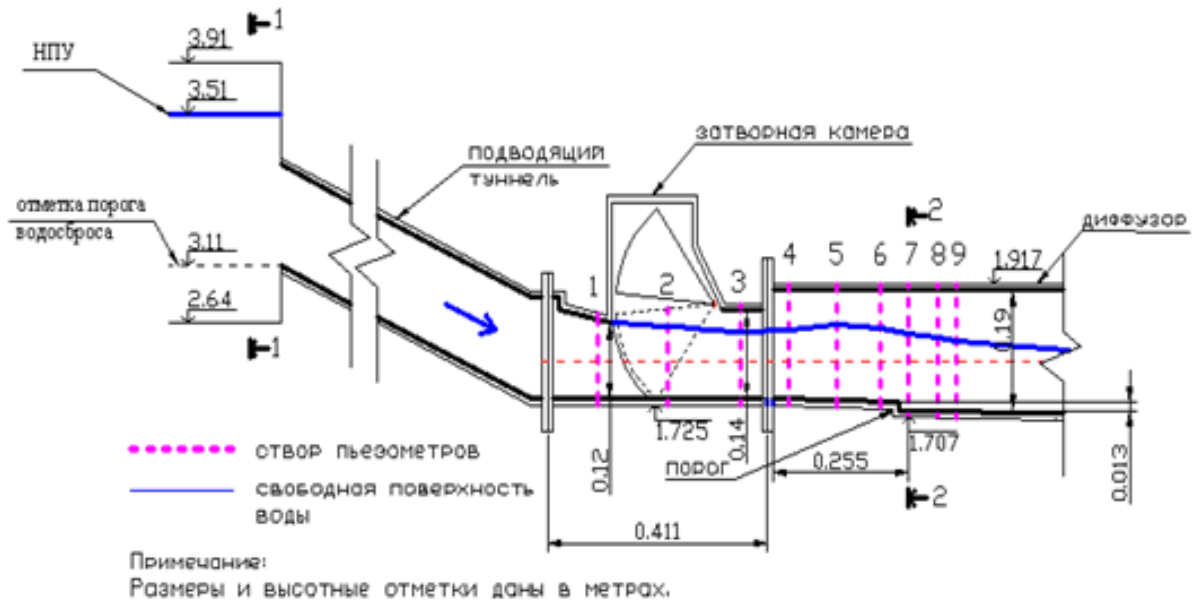
образования кавитации как при пропуске проектного расчетного расхода, соответствующего НПУ $Q_H = 1037 \text{ м}^3/\text{с}$, так и при меньших расходах, вплоть до $400 \text{ м}^3/\text{с}$ (максимальный расход, при котором явление кавитации не фиксировалось). Гидравлический режим потока и его скоростной режим позволяют, таким образом, косвенно судить о возможностях и причинах появления и развития кавитации в местах выявленных разрушений стенок водосброса, без прямого физического моделирования возникновения кавитации.

Для проведения исследований использовали модель глубинного водосброса в масштабе 1 : 50, изготовленную из оргстекла. Все детали модели выполнены согласно чертежам, модель собрана на опорной металлической ферме гидравлического стенда, выста-

влена под уровень [3, с. 90] и оборудована измерительной аппаратурой (пьезометры, трубка Пито, микровертушка для измерения скоростей потока).

Результаты и обсуждение. Рассмотрим работу водосброса при полностью открытом сегментном затворе и при пропуске проектного расхода $Q_H^{НПУ} = 1037 \text{ м}^3/\text{с}$. Для модели он составляет $Q_M = 0,05866 \text{ м}^3/\text{с}$.

Рассмотрим, в качестве расчетного, створ пьезометров № 7 (рисунок 2а), который соответствует расчетному сечению 2–2 для натурального сооружения (рисунок 2б). В работах [5, 7, 10] нами проведен расчет глубинного водосброса с учетом величины открытия сегментного затвора (рисунок 2б).



а

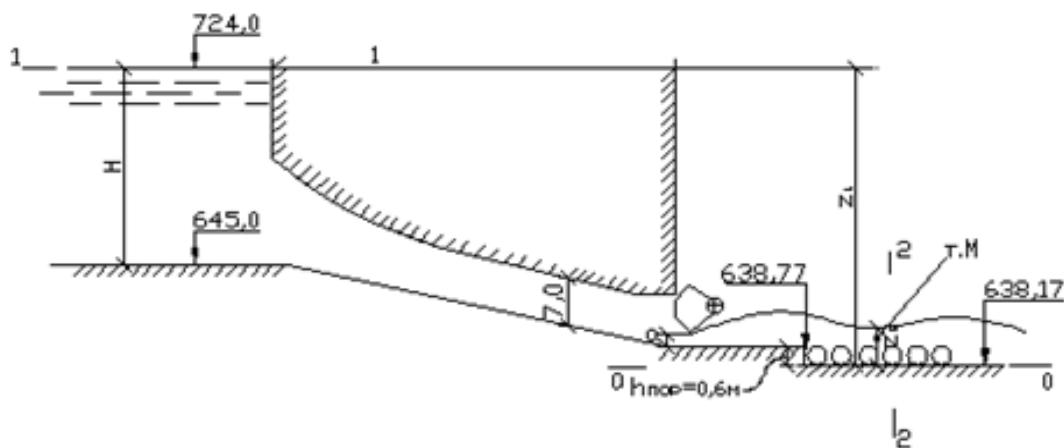


Рис. 2. Расчетная схема модели (а) и натурального сооружения (б, размеры и отметки рисунка соответствуют натурному сооружению)

Кавитация появляется при понижении в воде абсолютного давления $P_{абс}$ до давления парообразования $P_{кр}$, в результате чего растворенные газы формируются в пузырьки, а в дальнейшем происходит схлопывание этих пузырьков при повышении абсолютного давления в воде $P_{абс}$ до величины, превышающей давление парообразования.

Отсутствие возможности образования кавитации, проверяется выполнением следующих условий:

1. Абсолютное давление в точке М $P_{абс(м)}$ должно быть больше критического давления парообразования $P_{кр}$, принимаемого равным давлению насыщенных паров чистой воды (которое зависит только от температуры воды), то есть давлению, соответствующему испарению жидкости при данной температуре [8].

То есть, $P_{абс(м)} > P_{кр} = P_t$, Па (P_t – зависит от температуры воды и определяется по справочнику);

2. $P_{изб} < (P_{атм} - P_{кр}) = (P_{атм} - P_t)$, Па.

3. Параметр кавитации $K \geq K_{кр} = 1$.

При невыполнении хотя бы одного из трех условий возможно появление кавитации на изучаемом объекте.

Оценку возможности возникновения кавитации проводим общепринятым методом сопоставления фактических значений коэффициентов кавитации вблизи рассматриваемых элементов

$$K = \frac{P_{изб} - P_{кр}}{\rho \frac{v_{хар}^2}{2}}$$

с их критическими величинами $K_{кр}$. При этом условие возникновения кавитации выражается неравенством $K < K_{кр}$ [2].

Проверим возможность появления кавитации и кавитационной эрозии в

условиях полного открытия сегментного затвора и при прохождении максимального расчетного расхода $Q_H^{НПВ} = 1037 \text{ м}^3 / \text{с}$ (для модели он составляет $Q_M = 0,05866 \text{ м}^3 / \text{с}$). Расчет ведем для расчетного сечения 2–2 (соответствует створу пьезометров № 7). При этом принимаем, что:

$$P_{а.б.с.} = P_{атм.} + \rho gh;$$

$$P_{изб} = \rho gh;$$

$$P_{изб} = 1000 \text{ кг/м}^3 * 9,81 \text{ м/с}^2 * 0,0417 \text{ м} =$$

409,08 Па – согласно показаниям пьезометра, в створе № 7 в центре расчетного сечения (рисунок 2);

$$P_{а.б.с.} = 101325 + 409,08 = 101734,08 \text{ Па};$$

$$P_{кр} = P_{t=15^\circ\text{C}} = 1710 \text{ Па};$$

$P_{абс(м)} = 101734,08 \text{ Па} > P_{кр} = 1710 \text{ Па}$ – первое условие отсутствия кавитации выполнено.

Проверим второе условие:

$P_{изб} = 409,08 \text{ Па} < (P_{атм} - P_{кр}) = 99615 \text{ Па}$ – второе условие отсутствия кавитации выполнено.

Параметр кавитации:

$$K = \frac{P_{изб} - P_{кр}}{\rho \frac{v_{хар}^2}{2}}$$

где $v_{хар}^2 = 3,95 \text{ м/с}$ – квадрат скорости, измеренной с помощью микровертушки на модели водосброса, тогда

$$K = \frac{409,08 - 1710}{1000 * \frac{15,6025}{2}} = -0,167 < K_{кр} = 1.$$

По итогам расчета мы видим, что не все условия отсутствия кавитации были выполнены.

Также, в расчетном створе наблюдается сильное падение избыточного давления воды (рисунок 3) и в водосбросе наблюдаются местные большие неровности (стыки от опалубки при бетонировании, выбоины, каверны и т. д.) – предполагается появления кавитации.

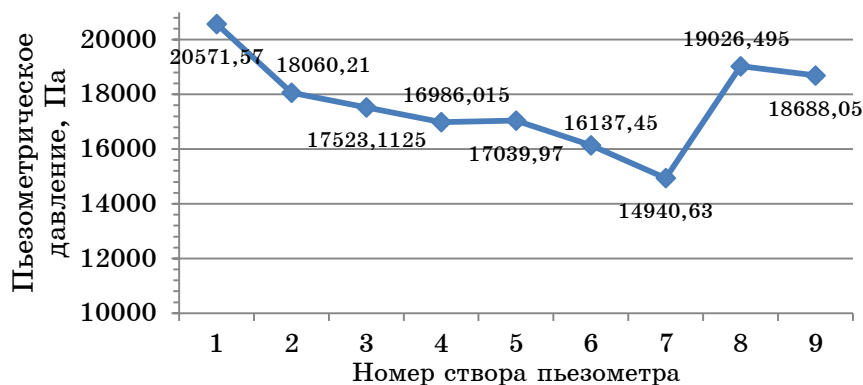


Рис. 3. График изменения давления по оси глубинного водосброса

Согласно полученным расчетным данным при уровне воды в ВБ на отметке НПУ = 724 м, через глубинный водосброс пойдет расход $1037 \text{ м}^3/\text{с}$, а средние скорости воды в безнапорной части водосброса после затвора достигнут величины $\approx 30 \text{ м/с}$.

Как отмечалось выше, при скоростях потока более 25 м/с , для обеспечения нормальной работы водопропускного сооружения необходимо принимать особые меры по учету (воздействия кавитации на стадии проектирования) кавитации, так как интенсивность кавитационной эрозии тел, обтекаемых высокоскоростным потоком, пропорционально зависит от скорости потока в 5...7 степени.

В заключении можно отметить, что вероятность возникновения кавитации в тракте глубинного водосброса обеспечена не только недостатками выполнения работ и эксплуатацией водосброса с забитыми воздуховодами, но и с существующими вопросами по принятым проектным решениям. Дальнейшее изучение и проведение опытов позволит уточнить предлагаемые методы решения вопроса.

Стоит отметить что из-за столь маленького масштаба модели непосредственно моделировать кавитацию и аэрацию нельзя, но можно получить данные о гидравлических характеристиках потока на анализе которых станет ясно поведение потока на натурном сооружении (рисунок 4).



Рис. 4. Фотофиксация эксперимента

Заключение

Результаты эксперимента совпадают с ситуаций на натурном объекте: в расчетном створе, где наблюдается сильное падение избыточного давления воды на натурном объекте зафиксирова-

ны кавитационные каверны в боковых стенках и дне водосброса.

Библиографический список

1. Слиский С.М. Гидравлические расчеты высоконапорных гидротехниче-

ских сооружений. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 304 с.

2. *Розанов Н.П.* Вопросы проектирования водопропускных сооружений, работающих в условиях вакуума и при больших скоростях потока. – Москва, Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1959. – 208 с.

3. Рекомендации по учету кавитации при проектировании водосбросных гидротехнических сооружений. – Ленинград: ПЗ8-75/ВНИИГ, 1976. – 300 с.

4. *Румянцев И.С., Зимнюков В.А., Зборовская М.И.* Исследование водосбросных сооружений Курпсайской ГЭС: отчет о научно-исследовательской работе. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2008. – 48 с.

5. *Румянцев И.С., Зимнюков В.А., Зборовская М.И.* Исследование водосбросных сооружений Курпсайской ГЭС: отчет о научно-исследовательской работе. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2012. – 129 с.

6. *Зимнюков В.А., Зборовская М.И., Кавжарадзе Г.В.* Сопоставление модельных исследований и гидравлического расчета глубинного водосброса Курпсайской ГЭС. – М.: МГУП, 2011. – 7 с.

7. *Румянцев И.С., Зимнюков В.А., Зборовская М.И., Кавжарадзе Г.В.* Улучшение работы глубинного водосброса Курпсайской ГЭС // Природообустройство. – 2012. – № 4. – С. 33–38.

8. *Рабинович Е.З.* Гидравлика. – М.: Недра, 1978. – 304 с.

9. *Кавешников А.Т.* Кавитационная эрозия на элементах водопропускных гидротехнических сооружений: монография. – М.: МГУП, 2001. – 158 с.

10. Оценка состояния и разработка программы исследований водосбросных сооружений Токтогульской и Курпсайской ГЭС (итоговый). Книга 2. Оценка состояния и разработка рекомендаций по реабилитации глубинного водосброса на Курпсайской ГЭС: отчет о научно-исследовательской работе / Лавров Н.П., Атаманова О.В. [и др.]. – Бишкек, 2005. – 44 с.

Сведения об авторах

Зимнюков Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, доцент; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44; тел. 8(499)153-96-33.

Зборовская Марина Ильинична, кандидат технических наук, доцент; Федеральное

государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44; тел. 8(499)153-96-33.

Зайцев Антон Иванович, аспирант; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44; тел. 8(499)153-96-33; e-mail: moo_abh@mail.ru.

References

1. *Slisskij S.M.* Gidravlicheskie raschety vysokonapornyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij. – М.: Jenergoatomiz-dat, 1986. – 304 s.

2. *Rozanov N.P.* Voprosy proektirovanija vodopropusknyh sooruzhenij, rabotajushih v uslovijah vakuuma i pri bol'shix skorostjah potoka. – Moskva, Leningrad: Gosudarstvennoe jenergeticheskoe izdatel'stvo, 1959. – 208 s.

3. Rekomendacii po uchetu kavitacii pri proektirovanii vodosbrosnyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij. – Lenin-grad: PЗ8-75/VNIIG, 1976. – 300 s.

4. *Rumjancev I.S., Zimnjukov V.A., Zbo-rovskaja M.I.* Issledovanie vodosbrosnyh sooruzhenij Kurpsajskoj GJeS: otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote. – М.: FGOU VPO MGUP, 2008. – 48 s.

5. *Rumjancev I.S., Zimnjukov V.A., Zbo-rovskaja M.I.* Issledovanie vodosbrosnyh sooruzhenij Kurpsajskoj GJeS: otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote. – М.: FGOU VPO MGUP, 2012. – 129 s.

6. *Zimnjukov V.A., Zbo-rovskaja M.I., Kavzharadze G.V.* Sopostavlenie model'nyh issledovanij i gidravlicheskogo rascheta glubinnogo vodosbrosa Kurpsaj-skoj GJeS. – М.: MGUP, 2011. – 7 s.

7. *Rumjancev I.S., Zimnjukov V.A., Zbo-rovskaja M.I., Kavzharadze G.V.* Uluchshe-nie raboty glubinnogo vodosbrosa Kurpsaj-skoj GJeS // Prirodoobustroj-stvo. – 2012. – № 4. – С. 33–38.

8. *Rabinovich E.Z.* Gidravlika. – М.: Nedra, 1978. – 304 s.

9. *Kaveshnikov A.T.* Kavitacionnaja jerozija na jelementah vodopropusknyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij: mono-grafija. – М.: MGUP, 2001. – 158 s.

10. Оценка состояния и разработка программы исследований водосбросных сооружений Токтогульской и Курпсайской ГЭС (итоговый). Книга 2. Оценка состояния и разработка рекомендаций по реабилитации

glubinnogo vodosbrosa na Kurpsajskoj GJeS: otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote / Lavrov N.P., Atamanova O.V. [i dr.]. – Bishkek, 2005. – 44 s.

Information about the authors

Zimniukov Vladimir Anatolevich, candidate of technical sciences, associate professor; FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, d. 44; phone 8(499)153-96-33.

Zborovskaia Marina Ilinichna, candidate of technical sciences, associate professor; FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, d. 44; phone 8(499)153-96-33.

Zaitsev Anton Ivanovich, undergraduate student; FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, d. 44; phone 8(499)153-96-33; e-mail: moo_abh@mail.ru.

Для цитирования: Зимнюков В.А., Зборовская М.И., Зайцев А.И. Анализ гидравлических условий работы глубинного водосброса на возможность появления кавитации // Экология и строительство. – 2016. – № 4. – С. 9–15.

For citations: Zimniukov V.A., Zborovskaia M.I., Zaitsev A.I. Analysis of the hydraulic conditions of the downhole spillway to possibility of the cavitation // Ekologiya & Stroitelstvo. – 2016. – № 4. – P. 9–15.

УДК 502/504 : 69.059

ИСПРАВНОЕ СОСТОЯНИЕ ОТМОСТКИ КАК ЗАЛОГ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЯ

Поступила 09.12.2016 г.

© **Матвеев Павел Сергеевич, Григорьева Галина Николаевна, Игохина Елена Олеговна**
Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», г. Коломна, Россия

GOOD CONDITION OF PAVEMENT AS THE KEY TO THE NORMAL OPERATION OF THE BUILDING

Received on December 09, 2016

© **Matveev Pavel Sergeevich, Grigoreva Galina Nikolaevna, Igokhina Elena Olegovna**
Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University, Kolomna, Russia

Рассматривается вопрос о роли отмостки в безопасной эксплуатации здания. Несмотря на то, что отмостка является неотъемлемой частью любого здания, многие при проектировании, строительстве и эксплуатации не придают ей особого значения, считая ее неким архитектурным декоративным элементом, «дорожкой» вокруг здания, которая нужна для того, чтобы спокойно передвигаться по участку. Интересно, что понятие «отмостка» встречается во многих нормативных документах, однако официальное определение данного термина отсутствует. Делается вывод о роли отмостки в работе несущих конструкций здания. Исправное состояние отмостки является залогом нормальной эксплуатации здания.

Ключевые слова: отмостка, фундамент, эксплуатация здания, обследование здания.

Examines the role of the pavement for key in the safe operation of the building. Despite the fact that the blind area is an intrinsic part of any building, many in the Pro-the design, construction and operation don't care, considering it a kind of architectural decorative element, "path" around the building that are needed in order to safely move through the area. Interestingly, the concept of "blind area" meets-Xia in many normative documents, but the official definition of this term is missing. The conclusion is poly aprons in the work of bearing structures of the building. Correcting the condition of pavement is the key to the normal operation of the building.

Keywords: pavement, Foundation, building maintenance, building inspection.