

О.С. СИМОНОВИЧ¹, В.Л. СНЕЖКО¹, Д.В. КОЗЛОВ²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Российская Федерация

ПЕРИОДИЧНОСТЬ РЕМОНТА НИЗКОНАПОРНЫХ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ИХ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ

На территории Московской области насчитывается более 1900 небольших водохранилищных гидроузлов, большинство из которых созданы грунтовыми плотинами IV класса и служат для регулирования стока местных ручьев и малых рек. Государственной программой «Экология и окружающая среда Подмосковья» на 2017-2026 гг. предусмотрен ежегодный капитальный ремонт 4...6 бесхозных сооружений и двух плотин, находящихся в муниципальной собственности. После передачи собственнику восстановленных плотин, ремонт которых был выполнен за счет бюджетных средств, возможны случаи, когда у нового владельца еще не созданы службы эксплуатации. Задача определения периодичности обследования и ремонта плотин, обеспечивающего поддержание их уровня безопасности, является достаточно актуальной. Для расчетов из базы обследования 1018 гидротехнических сооружений Московской области были отобраны плотины, введенные в эксплуатацию в период интенсивного мелиоративного строительства (1965-1991 гг.). Эти сооружения были возведены по типовым проектам с применением унифицированных методов производства строительных работ. Данные по интенсивности снижения уровня безопасности обследованных плотин были использованы при разметке цепи Маркова. Для определения вероятностей состояния плотины при различных сроках проведения ремонтов применены методы теории массового обслуживания. Показано, что при отсутствии службы эксплуатации единственно приемлемым способом обеспечения требуемого уровня безопасности сооружения является способ, основанный на предупредительных экспертных обследованиях и последующих ремонтах. Приведена методика определения межконтрольного периода. Расчеты основаны на сохранении плотиной работоспособного или частично работоспособного состояния на протяжении всего межконтрольного периода. Данные исследования могут быть использованы собственниками грунтовых плотин IV класса, расположенных на территории Московской области (включая районы, впоследствии вошедшие в состав Новой Москвы), для организации работы по обеспечению технически исправного состояния сооружения и его безопасности, а также по предотвращению аварии на нем.

Гидротехническое сооружение, грунтовая плотина, модель надежности, ремонт, уровень безопасности.

Введение. В информационной базе Российского регистра гидротехнических сооружений Ростехнадзора на начало 2020 г. на территории Московской области зарегистрировано 588 гидротехнических сооружений [1]. По данным Министерства экологии и природопользования Московской области

на территории Подмосковья расположено более 1900 сооружений, из которых только 33 ГТС относятся к I-III классам. Большинство ГТС являются гидроузлами IV класса опасности и в случае аварии угрожают населению и объектам экономики и жизнеобеспечения не представляют [2]. Их небольшие водохранилища

(пруды) образованы низконапорными плотинами, как правило, грунтовыми.

Масштабное гидротехническое строительство в 1970-80 гг. на территории Московской области было обусловлено развитием агропромышленного комплекса, гидроэнергетики, водоснабжения предприятий и населения, противопожарной безопасности, рекреационных зон. В последующие 1990-е годы экономика Московской области, как и всей России, пережила глубокий спад, сопровождающийся масштабными экономическими реформами, связанными с переходом экономики страны от плановой к рыночной, в результате чего значительная часть ГТС, построенных, в первую очередь, хозяйственным способом в интересах сельского хозяйства и местной промышленности, оказалась бесхозной и не востребовавшейся.

По официальным данным на конец 2012 года в Московской области насчитывалось 997 гидротехнических сооружений неудовлетворительного и опасного уровня безопасности, в основном бесхозных. За период 2015-2017 годов было обследовано 578 бесхозных ГТС, многие из которых находились в неудовлетворительном и опасном техническом состоянии.

Учитывая, что состояние гидротехнических сооружений существенно влияет на состояние природных объектов и безопасность населения в современных условиях, Правительство Московской области приняло Государственную программу «Экология и окружающая среда Подмосковья» на 2017-2026 гг. [3], в которой запланировано выделение средств из федерального и муниципального бюджетов на повышение эксплуатационной надежности ГТС в рамках подпрограммы «Развитие водохозяйственного комплекса Московской области», направленной на повышение доли гидротехнических сооружений, находящихся в нормативном состоянии.

По итогам реализации мероприятий указанной подпрограммы запланировано снижение количества ГТС с неудовлетворительным и опасным уровнем безопасности, а также уменьшение рисков возникновения аварий на таких объектах. Поэтому в рамках подпрограммы «Развитие водохозяйственного комплекса Московской области» ежегодно планируется капитальный ремонт 4...6 бесхозных ГТС и 2-х плотин, находящихся в муниципальной собственности [3]. К концу 2020 года все бесхозные ГТС

Подмосковья в соответствии с действующим законодательством должны быть переданы на баланс областных муниципалитетов.

По результатам инвентаризации 1218 гидротехнических сооружений Московской области, выполненной в 1997-2013 гг. Академией водохозяйственных наук и Московским государственным университетом природообустройства (ныне Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова Российского государственного аграрного университета имени К.А. Тимирязева), было выявлено 1018 ГТС, не имеющих служб эксплуатации [4]. Из них 58% гидроузлов были бесхозными, 12% находились в собственности администрации сельских поселений и округов, 4% – в собственности государственных и 26% – в собственности частных предприятий. В годовом отчете Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору отмечено, что часто «...бесхозные ГТС передаются в собственность владельцам, не имеющим необходимой квалификационной подготовки, без соответствующей проектной и технической документации» [5, с. 151].

После передачи собственнику бывших бесхозных плотин, капитальный ремонт которых был выполнен за счет бюджетных средств, не исключены случаи, когда новый владелец не организовал службу эксплуатации ГТС, либо она оказалась укомплектованной кадрами с недостаточной квалификацией.

Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» № 117, 1997 года (статья 9) обязывает собственника или эксплуатирующую организацию «систематически анализировать причины снижения безопасности гидротехнического сооружения и своевременно осуществлять разработку и реализацию мер по обеспечению технически исправного состояния гидротехнического сооружения и его безопасности, а также по предотвращению аварии гидротехнического сооружения». Получение достоверных сведений о техническом состоянии гидротехнического сооружения возможно только в результате визуального и инструментального обследования ГТС. Закон требует обеспечить проведение регулярных обследований гидротехнического сооружения.

Актуальной задачей является определение периодичности проведения таких обследований и последующие разработка и реализация мер по обеспечению технически исправного состояния ГТС (в том числе

его ремонта), что сохранит должный уровень безопасности ГТС на перспективу.

Материал и методы исследований.

Материалом исследований стали сведения по уровню безопасности 1018 грунтовых плотин IV класса, полученные в результате инвентаризации ГТС Московской области. Средний объем водохранилища обследованных гидроузлов равен 0,29 млн м³, средняя глубина водохранилища при НПУ 2,2 м, средняя высота плотины в русловой части 5,8 м [6]. Все объекты на момент инвентаризационного обследования не имели службы эксплуатации или были бесхозными.

Использование методов теории надежности к прогнозу уровня безопасности грунтовых плотин подтверждено проверкой их условной типичности. В расчет включены только ГТС, введенные в эксплуатацию с 1965 по 1991 год, то есть в период реализации программы мелиорации земель, принятой Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 16 июня 1966 года «О широком развитии мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур». Созданные в рамках реализации программы головные проектные институты (Гипроводхозы) разрабатывали типовые проекты малых мелиоративных гидроузлов, специализированные строительные объединения (Мелиоводстрой) осуществляли их строительство [7]. На территории Московской области применение типовых проектов и типовых методов производства строительных работ позволило ежегодно вводить в эксплуатацию от 20 до 90 таких гидроузлов. За 26 лет было построено более 850 водохранилищ для регулирования стока малых рек и ручьев, что составило 70% от общего числа низконапорных ГТС в Подмосковье.

Нормальный и пониженный уровень безопасности соответствуют работоспособному состоянию плотины. При неудовлетворительном уровне безопасности наблюдаются снижение механической или фильтрационной прочности и отклонения от проектного состояния, способные вызвать аварийную ситуацию, при этом сооружение является частично работоспособным [1]. При опасном уровне безопасности нарастают процессы снижения прочности и устойчивости сооружения, происходит переход к неработоспособному состоянию, и эксплуатация плотины в проектом режиме недопустима. Снижение уровня безопасности грунтовой плотин в пределах ее

нормативного срока эксплуатации (50 лет) является отказом. Сохранение плотин исходного уровня безопасности при отсутствии технического обслуживания и ремонта было описано экспоненциальными кривыми надежности с постоянными интенсивностями отказов λ , определенными по данным экспертного обследования сооружений и равными $\lambda_{\text{норм}} = 0,065$, $\lambda_{\text{пониж}} = 0,025$ и приведенное $\lambda_{\text{океуд}} = 0,05$ [6, 8]. Расчеты выполнены в предположении ежегодного снижения уровня безопасности не более чем на порядок.

Целью исследований стало определение периодичности проведения обследования (назовем его «экспертным обследованием») и последующего ремонта низконапорной грунтовой плотины (далее – плотины) нормального уровня безопасности с целью сохранения работоспособного состояния гидротехнического сооружения в дальнейшем. В основу исследований положены методы теории массового обслуживания.

Результаты и обсуждение. Обеспечение надежности при эксплуатации регламентируется стратегией технического обслуживания и ремонта. Для восстановления утраченной работоспособности (опасный или неудовлетворительный уровень) необходим капитальный ремонт, стоимость которого может достигать до 50% балансовой стоимости сооружения. Приведение плотины в соответствие проектным параметрам (при пониженном уровне) обеспечивается текущими ремонтами со стоимостью не более 25% восстановительной стоимости плотины [9]. Технического обслуживания сооружения при отсутствии службы эксплуатации не происходит.

В технике применяются два различных метода определения времени ремонта устройства: исправительный (corrective) и предупредительный (preventive). При первом фиксируется отказ или недопустимое снижение работоспособности сооружения, после чего выполняется его ремонт [10]. Необходимо постоянный мониторинг состояния сооружения, и при отсутствии эксплуатационных служб этот способ неприемлем.

Предупредительный метод подразумевает работу сооружения в течение заданного периода времени T_0 , после чего определяется фактическое состояние плотины (уровень ее безопасности) и выполняется ремонт необходимого объема. Время T_0 между обследованиями плотины предложено определять из условия недопустимого риска достижения сооружением неудовлетворительного

либо опасного уровня безопасности, т.е. регламентировать вероятность нахождения ГТС в неработоспособном состоянии на всем протяжении межконтрольного периода. За регламент вероятности в расчетах было принято значение, равное 5% (вероятность, ограничивающая сверху область практически невозможных событий).

Были рассмотрены варианты предупредительной стратегии ремонта при эксплуатации плотины исходно нормального

уровня безопасности. Состояния системы описаны однородной цепью Маркова, граф интенсивностей которой приведен на рисунке 1. Интенсивность восстановлений $\mu_{\text{пониж-норм}}$ (1/год) необходимо определить из условий регламента вероятности неработоспособных состояний. Вероятности нахождения в состояниях «Неудовлетворительный уровень» и «Опасный уровень» должны быть меньше 5% на всем межконтрольном периоде.

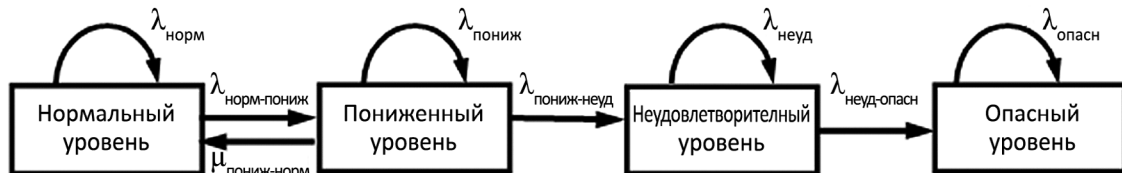


Рис. 1. Граф интенсивностей цепи Маркова для плотины нормального уровня безопасности

В расчетах межконтрольный период T_0 принимался меньше среднего времени соответствия плотины нормальному уровню безопасности $T_0 = \frac{1}{\lambda_{\text{норм}}}$. Рассмотрен ряд значений μ , которым соответствовала периодичность обследования: от одного раза в 4 года и до одного раза в 12 лет. Расчеты показали, что для плотины, исходно имеющей нормальный уровень безопасности, приемлемо выполнить первое экспертное обследование через 10 лет. Согласно прогнозу на этот момент времени с вероятностью

52% сооружение будет иметь нормальный уровень, с вероятностью 42% пониженный, с вероятностью 5% неудовлетворительный и с вероятностью 1% опасный уровень безопасности (рис. 2). Если экспертное обследование сооружения через время T_0 выявит снижение уровня безопасности плотины до пониженного, то необходимо в течение года выполнить текущий ремонт. При констатации нормального уровня достаточно ограничиться техническим обслуживанием сооружения и устранением мелких поломок.

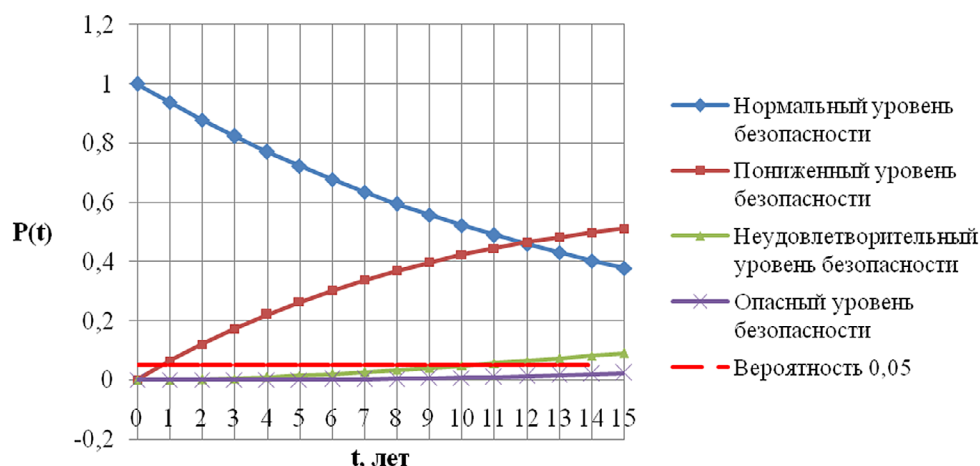


Рис. 2. Прогнозные вероятности уровня безопасности плотины при периодичности обследования и ремонта 10 лет

По аналогичной методике возможно определение периодичности проведения экспертного обследования и ремонта плотины, исходно имеющей пониженный

уровень безопасности. Эта схема соответствует случаю, когда невозможно восстановление сооружения до нормального уровня в силу объективных (как правило,

финансово-экономических) причин. Собственник сооружения допускает возможность снижения уровня безопасности до неудовлетворительного и последующее проведение капитального ремонта. Риск перехода в опасный уровень по-прежнему не должен превышать 5% на всем межконтрольном периоде T_0 . В данном случае граф интенсивностей (рис. 1) будет включать три состояния и интенсивность $\mu_{\text{неуд.-пониж}}$, восстанавливающую пониженный уровень плотины при ее соответствии неудовлетворительному уровню безопасности.

Частота ремонтов и обследований зависит также от склонности собственника плотины к риску. Вероятность, с которой на межконтрольном периоде плотина может иметь неработоспособное или частично работоспособное состояние, в этом случае можно назначить больше, чем 5%.

Рациональная система ремонтов и предупреждения потенциального снижения уровня безопасности ГТС должна обеспечить минимум средств на организацию и проведение ремонтных мероприятий при максимальной гарантии сохранения работоспособного состояния грунтовой плотины. Для решения этой задачи необходимо проведение дальнейших исследований. Расчеты по приведенной методике допустимо производить только до достижения сооружением возраста 50 лет в конце прогнозного периода.

Выводы

Использование данных по фактическому уровню безопасности типичных низконапорных грунтовых плотин, построенных на территории Московской области в период реализации программы мелиорации земель, позволил применить методы теории массового обслуживания для определения стратегии технического ремонта и обслуживания таких гидротехнических сооружений.

При отсутствии службы эксплуатации единственно приемлемым является способ обеспечения требуемого уровня безопасности плотины, основанный на предупредительных экспертных обследованиях и последующих ремонтах.

Для низконапорных грунтовых плотин IV класса впервые определены основные параметры стратегии предупредительных ремонтов.

Выполненные исследования могут быть использованы собственниками грунтовых плотин IV класса, расположенных

на территории Московской области (включая районы, впоследствии вошедшие в состав Новой Москвы), для организации работы по обеспечению технически исправного состояния сооружения и его безопасности, а также по предотвращению аварии ГТС.

Библиографический список

1. Официальный сайт Российского регистратора гидротехнических сооружений <http://www.waterinfo.ru/gts/rstat3.php>

2. **Козлов Д.В., Матвеев Ф.В.** Современные аспекты регулирования безопасности гидротехнических сооружений. // Природообустройство. – 2016. № 3. – С. 45-51.

3. Постановление Правительства Московской области от 25.10.2016 N795/39 (ред. от 24.04.2018) «Об утверждении государственной программы Московской области «Экология и окружающая среда Подмосковья» на 2017-2026 годы»: Электронный ресурс: <https://klh.mosreg.ru/download/document/474478> (доступ свободный)

4. **Волков В.И., Каганов Г.М.** Обобщение результатов обследования состояния гидроузлов в Московской области за 2002-2012 гг. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2012. – № 3. – С. 5-8.

5. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2017 году. – М.: Изд-во ЗАО НТЦ ПБ, 2018. – 420 с.

6. **Волков В.И., Козлов Д.В., Снежко В.Л.** Прогноз уровня безопасности низконапорных и бесхозных гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. – 2018. – № 11. – С. 35-41.

7. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России / А.В. Колганов, Н.В. Сухой, В.Н. Шкура, В.Н. Щедрин; под ред. В.Н. Щедрина. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 222 с.

8. **Снежко В.Л., Сидорова С.А., Симонович О.С.** Прогноз уровня безопасности низконапорных грунтовых плотин // Природообустройство. – 2019. – № 2. – С. 72-80.

9. Надежность и безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения. Научный обзор / В.Н. Щедрин, Ю.М. Косиченко, Е.И. Шкуланов, и др. – Новочеркасск: 2011. – 105 с.

10. **Проников А.С.** Параметрическая надежность машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.

Материал поступил в редакцию 15.01.2020 г.

Сведения об авторах

Симонович Ольга Сергеевна, старший преподаватель кафедры «Информационные технологии в АПК» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Прянишникова, 19; e-mail: gnbwf25@mail.ru

Снежко Вера Леонидовна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Информационные технологии

в АПК» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Прянишникова, 19; e-mail: VL_Snejko@mail.ru

Козлов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Гидравлики и гидротехнического строительства» ФГБОУ ВО НИУ МГСУ; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: kozlovdv@mail.ru

O.S. SIMONOVICH¹, V.L. SNEZHKO¹, D.V. KOZLOV²,

¹ Federal state budgetary educational institution of higher education Russian state agrarian university – MAA named after S.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

² Federal state budgetary educational institution of higher education «National research Moscow state University of civil engineering», Moscow, Russian Federation», Moscow, Russian Federation

PERIODICITY OF REPAIR OF LOW-PRESSURE GROUND DAMS TO MAINTAIN THEIR SAFETY LEVEL

On the territory of the Moscow region there are more than 1900 small water storage units, most of which are made by class IV ground dams and serve to regulate the flow of local streams and small rivers. The state program «Ecology and environment of the Moscow region» for 2017-2026 provides for an annual overhaul of 4..6 ownerless structures and two dams that are in the municipal ownership. After the transfer of the restored dams to the owner which repairs were carried out at the expense of the budget funds, there may be cases when the new owner has not yet established an operation service. The task of determining the frequency of expert inspection and repair of dams ensuring the maintenance of their level of safety is quite urgent. For calculations, there were chosen the dams put into operation during the period of intensive land reclamation (1965-1955) from the survey database of 1018 hydraulic structures of the Moscow region. These structures were built according to standard projects using uniform production methods of construction work. The data on the intensity of the safety level lowering of the surveyed dams were used for marking the Markov chain. The queuing theory methods are used to determine the probabilities of the dam condition at different repair periods. It is shown that in the absence of the operational service, the only acceptable way to ensure the required level of safety of the structure is a method based on preventive expert examinations and subsequent repairs. The method of determining the inter-control period is given. The calculations are based on the dam maintaining an operational or partially operational state throughout the entire inter-control period. These studies can be used by owners of the ground dams of class IV located in the Moscow region (including the areas that later became part of New Moscow) for arrangement of the work on ensuring a technically repaired state of the structure and its safety as well as on prevention of an accident.

Hydraulic structure, ground dam, reliability model, repair, security level.

References

1. Ofitsialnyy sait Rossijskogo registra gidrotehnicheskikh sooruzhenij <http://www.waterrinfo.ru/gts/rstat3.php>

2. **Kozlov D.V., Matveenkov F.V.** Sovremennye aspekty Regulirovaniya bezopasnosti gidrotehnicheskikh sooruzhenij. // Prirodobustrojstvo. – 2016. – № 3. – S. 45-51.

3. Postanovlenie Pravitelstva Moskovskoj oblasti ot 25.10.2016 N795/39 (red. ot 24.04.2018) «Ob utverzhdenii gosudarstvennoj programmy Moskovskoj oblasti «Ekologiya i okruzhayushchaya sreda Podmoskovja» na 2017-2026 gody»: Elektronnyy resurs:

<https://klh.mosreg.ru/download/document/474478> (dostupsvobodny)

4. **Volkov V.I., Kaganov G.M.** Obobshchenie rezultatov obsledovaniya sostoyaniya gidrozlovov v Moskovskoj oblasti za 2002-2012 gg. // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. – 2012. – № 3. – S. 5-8.

5. Godovoj otchet o deyatelnosti Federalnoj sluzhby po ekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru 2017 godu. – M.: Izd-vo ZAONTTS PB, 2018. – 420 s.

6. **Volkov V.I., Kozlov D.V., Snezhko V.L.** Prognoz urovnya bezopasnosti nizkopornykh i beskhozyajnykh gidrotehnicheskikh

sooruzhenij // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2018. – № 11. – S. 35-41.

7. Razvitie melioratsii zemelsel skokhozyajstvennogo naznacheniya v Rossii / A.V. Kolganov, N.V. Sukhoi, V.N. Shkura i dr.; pod red. V.N. Shchedrina. – Novocherkassk: RosNIIPM, 2016. – 222 s.

8. **Snezhko V.L., Sidorova S.A., Simonovich O.S.** Prognoz urovnya bezopasnosti nizkonapornyh gruntovyh plotin// Prirodobustrojstvo. – 2019. – № 2. – S. 72-80.

9. Nadezhnost i bezopasnost gidrotehnicheskikh sooruzhenij meliorativnogo naznacheniya. Nauchny obzor / V.N. Shchedrin, Yu.M. Kosichenko, E.I. Shkulanov i dr. – Novocherkassk: 2011. – 105 s.

10. **Pronikov A.S.** Parametricheskaya nadezhnost mashin. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2002. – 560 s.

The material was received at the editorial office
15.01.2020

Information about the authors

Simonovich Olga Sergeevna, senior lecturer the chair «Information technologies in construction», FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya ul., 44 e-mail: VL_Snejko@mail.ru

Snezhko Vera Leonidovna, doctor of technical sciences, professor, head of the chair «Information technologies in construction», FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya ul., 44 e-mail: VL_Snejko@mail.ru

Dmitry Vyacheslavovich Kozlov, doctor of technical Sciences, Professor, head of the Department of Hydraulics and hydraulic engineering, National research Moscow state University of civil engineering, 26 Yaroslavskoeshosse; Moscow, 129337; e-mail: kozlovdv@mail.ru

УДК 502/504: 627.82.034.93

DOI 10.34677/1997-6011/2020-1-65-71

В.Я. ЖАРНИЦКИЙ, Е.В. АНДРЕЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗОК ОТ ДВИЖУЩЕГОСЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Гидротехнические сооружения, эксплуатируемые в зоне влияния отрицательных температур, подвержены влиянию движущегося льда. Поэтому для максимально эффективного восприятия гидротехническим сооружением нагрузок от движущегося ледового покрова и минимизации отрицательных последствий важная роль отводится подбору геометрии контактных плоскостей. Нагрузки на гидротехнические объекты от ледовых полей представляются в двух вариантах: влияние разрушенного льда, как правило, представляется в форме взаимодействия сооружения с сыпучей поверхностью Кулона или как влияние консолидированного льда. Как правило, расчётными нагрузками считаются воздействия от сплошного ледового поля, и в основном на них направлены нормы проектирования гидротехнических сооружений. Существенно снизить влияние нагрузок от движущегося ледового покрова на гидротехническое сооружение возможно с помощью придания элементам сооружения определённого наклона в вертикальной плоскости, так как лёд разрушается в большей степени не от сжатия, а от изгиба. Это свойство льда объясняет и тот факт, что нагрузки на наклонные сооружения ниже, чем на вертикальные. В выводах представлена многофакторность степени воздействия ледовых покровов на контактные площадки опор и откосов гидротехнических сооружений.

Ледовая нагрузка, гидротехнические сооружения, строение ледового поля, контактная поверхность, ледовое поле, торосы, прочность льда, воздействие на сооружение, нагрузка на ледяной покров.

Введение. При проектировании и строительстве гидротехнических сооружений и природно-климатические условия, оказывающие непосредственное влияние, как