

УДК 614.8-027.21; 519.2; 504:519.2

Г. И. Касперов¹, В. Е. Левкевич², В. А. Мильман³, Л. В. Бокуть²¹ Белорусский государственный технологический университет² Белорусский национальный технический университет³ Объединенный институт информатики НАН Беларуси**ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОДПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
НА ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМАХ БЕЛАРУСИ
КАК ФАКТОР РИСКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АВАРИЙ**

Искусственные водоемы (водохранилища и пруды) являются источником риска возникновения гидродинамических аварий. Одним из факторов риска таких аварий являются повреждения подпорных гидротехнических сооружений (плотин и дамб), а также водосбросных и водорегулирующих. Для оценки повреждений гидротехнических сооружений проведено экспресс-обследование большинства водохранилищ Беларуси. Выявлены основные типы повреждений и дана их классификация. Отмечены наиболее распространенные повреждения. Приведены примеры повреждений гидротехнических сооружений водохранилищ. Дана общая оценка их технического состояния. Сделан вывод о целесообразности периодических экспресс-обследований водохранилищ.

Ключевые слова: искусственные водоемы, гидротехнические сооружения, гидродинамические аварии, экспресс обследования, техническое состояние, разрушение берегов.

G. I. Kasperov¹, V. E. Levkevich², V. A. Mil'man³, L. V. Bokut'²¹Belarusian State Technological University²Belarusian National Technical University³The United Institute of Informatics Problems of NAS Belarus**DAMAGES OF SUPPORTING HYDROTECHNIC CONSTRUCTIONS
ON ARTIFICIAL RESERVOIRS OF BELARUS
AS THE RISK FACTOR OF HYDRODYNAMIC FAILURES**

Artificial reservoirs (water basins and ponds) are a source of risk of arising hydrodynamic failures. One of risk factors of such failures are damages of supporting hydrotechnic constructions (dams and dikes), and also water waste and water regulating constructions. For an estimation of damages of hydrotechnic constructions express inspection of the majority of water basins of Belarus is carried out. The basic types of damages are revealed and their classification is given. The most widespread damages are noted. Examples of damages on hydrotechnic constructions on water basins are resulted. The general estimation of a technical condition of constructions is given. The conclusion is drawn on expediency of periodic express inspections of water basins.

Key words: artificial reservoirs, hydrotechnic constructions, hydrodynamic failures, the inspection express train, a technical condition, destruction of coast.

Введение. Искусственные водоемы Беларуси выполняют важные хозяйственные функции и имеют большое экологическое значение. Вместе с тем они несут опасность аварий и некоторых других негативных явлений. В статье рассматриваются результаты выполненных натурных обследований искусственных водоемов как источников опасных техногенных процессов и явлений с 2006 по 2016 г.

Основная часть. В Республике Беларусь находятся в эксплуатации 150 водохранилищ. Суммарный объем аккумулированной в водохранилищах воды составляет около 3,0 км³, площадь водного зеркала – более 800 км², протяженность береговой линии водохранилищ составляет более 1200 км. По объему водохра-

нилища делятся на малые (76,2%), небольшие (19,2%) и средние (4,6%).

Более половины малых водохранилищ (53%) имеют объем 1–2 млн м³ [1–3]. Водоемы с объемом менее 1 млн м³ относятся к категории прудов. Почти у всех водохранилищ Беларуси есть ограждающие или подпорные сооружения: земляные дамбы и плотины.

Хозяйственное назначение водохранилищ Беларуси следующее: регулирование стока, гидроэнергетика, водоснабжение населенных пунктов и предприятий, мелиорация, технологические нужды, рыборазведение, рекреация [3, 4]. Многие водохранилища используются для нескольких хозяйственных функций или изменили свое хозяйственное назначение в процессе эксплуатации.

Водохранилища являются потенциально опасными объектами, подверженными риску возникновения чрезвычайных ситуаций.

Основная опасность – это гидродинамические аварии [5], возникающие при возможных прорывах дамб и плотин. При гидродинамической аварии образуется и распространяется с большой скоростью волна прорыва, наносящая ущерб людям, строениям, материальным ценностям и природе. После прохождения волны прорыва остаются затопленными территории, а это приводит к материальному ущербу. Долгосрочные последствия гидродинамических аварий связаны с остаточными факторами затопления – переотложением наносов, загрязнением территорий, изменением природной среды [4–6]. Помимо гидродинамической аварии, на водохранилищах могут развиваться другие негативные процессы – разрушение берегов, заиление, заболачивание, загрязнение вод.

Впервые оценка водохранилищного фонда Беларуси была осуществлена Институтом водных проблем АН БССР в конце 50-х г. XX в. Под руководством М. Г. Мурашко был составлен водозащитный кадастр БССР. В последующем аналогичная работа по созданию справочника водохранилищ Беларуси проводилась в Белорусском государственном университете под руководством В. М. Широкова [1]. В начале XXI в. было выполнено очередное уточнение кадастра в ЦНИИКИВР [2]. Во всех этих обзорных исследованиях водохранилища рассматривались с точки зрения хозяйственного использования и экологии. Систематические исследования водохранилищ как опасных объектов до недавнего времени в Беларуси не проводились, хотя актуальность их не вызывает сомнений. Она подтверждается данными исследований в Российской Федерации, приведенными в монографии [7]: «малые и средние по размерам водохранилища представляют серьезную опасность, так как велика угроза прорыва их плотин при интенсивном снеготаянии и продолжительных летне-осенних осадках... Многие небольшие водохранилища мелиоративного назначения системы Минсельхоза России находятся в неудовлетворительном состоянии... Безопасность гидроузлов, особенно малых, снижается также в связи с отсутствием у большинства собственников проектной документации, что мешает оценить состояние и безопасность гидротехнических сооружений...».

Опасность аварий на водохранилищах усиливается по мере старения этих объектов. Большинство существующих водохранилищ на территории Беларуси построено с 1950 по 1980 г. За период эксплуатации гидротехнические сооружения водохранилищ подверглись старению

и износу, а капитальный ремонт был проведен только на небольшой части объектов. Отметим наиболее значимые гидродинамические аварии на территории Беларуси в текущем столетии: в 2006 г. произошел прорыв земляной плотины Воропаевской ГЭС (Поставский район Витебской области), в 2009 г. – прорыв плотины на водохранилище Бобрук в Могилевской области, летом 2010 г. – прорыв дамбы водохранилища рыбхоза «Свислочь» в Осиповичском районе Могилевской области, в августе 2011 г. после сильного дождя была прорвана плотина пруда в городе Воложине.

В рамках государственной программы научных исследований проведено систематическое обследование технического состояния гидротехнических сооружений (ГТС) водохранилищ Беларуси. В работе участвовали специалисты следующих организаций: Белорусского государственного технологического университета, Белорусского национального технического университета, Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси, Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь. Всего обследованы 105 водохранилищ, а также несколько десятков прудов различного назначения. Для обследования значительного количества водных объектов при ограничениях по финансовым затратам и времени был предложен подход, условно названный экспресс-обследованием.

Экспресс-обследование предполагает обследование водохранилища группой специалистов. Проводится общая оценка состояния водохранилища, его использования по назначению. Выполняется наружный осмотр плотины, водосбросных или водопропускных сооружений, берегов водохранилища в местах примыкания к телу плотины. При этом выявляются, измеряются, описываются и фотографируются повреждения и деформации ГТС. По окончании обследования вся собранная информация заносится в специализированную базу данных.

Все повреждения и деформации, выявляемые при экспресс-обследованиях, классифицированы следующим образом: повреждения сооружений напорного фронта (дамб и плотин); водосбросных и водорегулирующих сооружений; берегов и берегозащитных сооружений. По протяженности выделяются линейные и локальные (точечные) повреждения.

К повреждениям сооружений напорного фронта следует отнести: разрушение гребня плотины и его покрытия, повреждения верхнего и низового откосов плотины. Повреждения гребня плотины чаще носят линейный характер. В случае экстремального подъема уровня воды в водохранилище повреждения

гребня плотины увеличивают вероятность перелива воды с последующим разрушением плотины. К повреждениям верхового откоса относятся размыв тела плотины, повреждения крепления откоса, вымыв грунта из-под плит крепления откоса, поломки, выбоины и смещения плит крепления, образование щелей между плитами крепления. Наиболее опасное повреждение низового откоса – это суффозионный вынос грунта, возникающий при нарушении нормальной фильтрации воды через сооружение. Повреждения откосов плотины имеют локальный либо линейный характер. Они могут привести к потере фильтрационной устойчивости плотины с последующим образованием прорана и прорыва плотины. При экспресс-обследовании рассматривается только надводная часть плотины.

Для укрепленных берегов характерны те же повреждения, что и для верховых откосов дамб, плотин – это переработка берега, разрушение элементов крепления и вынос грунта из-под крепления [8]. Разрушение берегов может носить как локальный, так и линейный характер. Весьма часто возникают повреждения на стыках, в местах примыкания плотины к бетонному водосбросному сооружению и в местах примыкания плотины к коренному берегу.

Повреждения водосбросных и водорегулирующих сооружений – это либо повреждения бетонных (железобетонных) конструкций, либо повреждения и деформации затворов. Часто наблюдаются сколы, трещины и выбоины бетонных конструкций, выход наружу и коррозия металлической арматуры. Эти повреждения носят, как правило, локальный характер. Их основная опасность заключается в возможном заклинивании затворов в тот момент, когда необходимо срочно произвести сброс определенного объема воды из водохранилища во время паводка. Последствием может быть недопустимый подъем уровня воды и перелив через гребень плотины. При экспресс-обследовании доступны для изучения только надводные части водосбросных и водорегулирующих сооружений.

Преимущества экспресс-обследований состоят в простоте, дешевизне, скорости, отсутствии надобности согласований с организацией, эксплуатирующей водохранилище. Однако часть важных аспектов технического состояния ГТС при экспресс-обследовании остается нерассмотренной. Не анализируется работа в динамике механических элементов ГТС: затворов водосбросов и водозаборов; не изучается целостность откосов плотины ниже уровня воды; затруднена или невозможна количественная оценка выноса грунта из-под плит крепления

плотины, особенно в тех случаях, в которых расхождение швов между плитами невелико либо отсутствует [9]. Для получения более полной информации о состоянии ГТС необходимо детальное обследование, которое требует значительных организационных усилий, трудозатрат и использования сложных измерительных средств и приборов.

Ниже остановимся на некоторых примерах нарушений, обнаруженных в итоге обследования технического состояния ГТС ряда водохранилищ и прудов страны.

Водохранилище Волна (Гродненская область, Волковысский район). На водохранилище работает малая ГЭС. Подножье сборномонolithicного железобетонного покрытия откосов берегов в нижнем бьефе ГЭС в результате механических воздействий водяных потоков и прогрессирования абразивных процессов имеет значительные повреждения (рис. 1). Наблюдается вынос грунта из-под железобетонных плит. Не исключается возможность обрушения конструкций берегозащиты, что приведет к неопределимости остановки гидрооборудования и прекращению выработки электроэнергии. Представляет угрозу для обслуживающего персонала и иных лиц, которые могут оказаться в опасной зоне в критический момент.



Рис. 1. Повреждение креплений в нижнем бьефе на водохранилище Волна

Водохранилище Лаздуны (Гродненская область, Ивьевский район). Наблюдается частичное разрушение водосбросного сооружения шахтного типа (рис. 2).

Одна из двух шахт завалена остатками деревьев и кустов, а также другим мусором. Предположительно, разрушения могли возникнуть в период интенсивного ледохода. Очевидно, что ГТС достаточно давно эксплуатируется без плано-предупредительного ремонта и технического обслуживания. Верховой откос плотины укреплен каменной отмосткой, в которой

наметились повреждения шириной до 1,5 м. Состояние водного объекта таково, что при сильных паводках имеется угроза гидродинамической аварии с последующим затоплением низлежащего населенного пункта, объектов и земель сельскохозяйственного назначения.



Рис. 2. Повреждения водосброса на водохранилище Лаздуны

Водохранилище Чигиринское (Могилевская область, Кировский район). На водохранилище работает малая ГЭС. Наблюдаются отколы штукатурки и бетона, а также обнажение арматуры устоев (бычков), разделяющих водосбросные отверстия ГЭС. Со стороны верхнего бьефа в месте примыкания коренного берега к правобережной части плотины нарушена целостность защитного крепления верхового откоса, имелись впадины глубиной 0,5 м и трещины длиной более 1 м (рис. 3).



Рис. 3. Повреждения откоса плотины на водохранилище Чигиринское

В левобережной части земляной плотины значительные повреждения верхового откоса (максимальная ширина поврежденной части

составляет более 15 м). В месте примыкания левобережной части плотины к коренному берегу производится отбор грунта для строительных целей, вследствие чего образовался карьер размерами 4×3 м, что недопустимо. Железобетонное крепление верхового откоса имеет значительные повреждения в виде просядок плит, обнажения арматуры, трещин (максимальная длина 23 м) и выноса частей плит в глубоководную часть водохранилища (максимальный размер вынесенных частей 2×3 м). Практически на всем протяжении левобережной части плотины наблюдается вынос грунта и каменной наброски из-под железобетонных плит. По гребню плотины проложена неасфальтированная дорога, вследствие чего наблюдаются просядки и выемки глубиной до 0,3 м. В местах примыкания водосброса к грунтовой плетине наблюдались трещины шириной до 0,3 м и глубиной до 1 м с выносом грунта. В нижнем бьефе за рисбермой присутствует незначительный размыв русла с выносом среднезернистого грунта.

Водохранилище Лепельское (Витебская область, Лепельский район). Наблюдается интенсивное разрушение плит крепления верхового откоса и каменной наброски в левобережной части плотины (рис. 4). Заметен размыв русла в нижнем бьефе за водобойным колодцем.



Рис. 4. Разрушение плит крепления верхового откоса на водохранилище Лепельское

Водохранилище Княжеборское (Млынокское) (Гомельская область, Ельский и Наровлянский районы). Наблюдается проседание плит берегоукрепительных сооружений и непосредственно самой конструкции автоматического водосброса, разрушение материала гидроизоляции под автоматическим водосбросом, вынос грунта из-под плит крепления откоса плотины (рис. 5).



Рис. 5. Разрушение плотины на водохранилище Княжеборское (Млынокское)

Как следствие, в 2011 г. произошла авария с разрушением плотины и водохранилище перестало выполнять свои функции. Благодаря отсутствию в непосредственной близости в нижнем бьефе гидроузла населенных пунктов при прохождении волны прорыва удалось избежать человеческих жертв и значительных материальных ущербов от затопления.

Пруд-накопитель у города Смоленичи (Минская область). Верховой откос напорной дамбы обвалования наливного водоема укреплен бетонными плитами (рис. 6). Значительная часть плит поломаны и смещены.



Рис. 6. Повреждения ГТС пруда-накопителя у города Смоленичи

Натурные обследования выявили локальные размывы тела сооружения. Водосбросные сооружения находятся в заброшенном состоянии. Водный объект представляет серьезную угрозу для жилых домов, расположенных в непосредственной близости в нижнем бьефе гидроузла.

Анализ результатов натурных экспресс-обследований водных объектов позволил выявить наиболее распространенные повреждения ГТС. Типичным является повреждение верхних откосов дамб и плотин. Регулярно наблюдается вымывание грунта из швов между плитами крепления откосов. На многих плитах

имеются трещины и разломы. На многих водохранилищах наблюдаются локальные разрушения береговых склонов вблизи плотины. Повсеместно есть нарушения целостности бетонных конструкций (бычков, балок, оголовков) водосбросных сооружений [10, 11]. Менее распространены, однако отмечены на ряде объектов такие опасные нарушения, как суффозионный вынос грунта из тела плотины, оползание грунтовых откосов в верхнем и нижнем бьефах, деформация металлических конструкций водосбросных сооружений [12, 13].

Основной причиной, вызывающей повреждения откосов плотин и береговых склонов, является комплексное воздействие природных факторов. На вытянутых в плане русловых водохранилищах главной причиной повреждений являются абразионные процессы, получающие развитие под комплексным воздействием ветровых волн, колебания уровней и течений. На относительно малых водохранилищах и прудах, где длина разгона волны менее километра, главный вклад в повреждения вносят дождевая эрозия, ледовые воздействия, изменения уровня воды. Причинами повреждений ГТС могут быть ошибки в проектировании и строительстве [9].

Помимо повреждений, непосредственно связанных с опасностью гидродинамической аварии, в ходе экспресс-обследований по возможности фиксировались другие аспекты состояния водохранилищ, в частности разрушения берегов водохранилищ, являющиеся результатом абразионных процессов. Эти разрушения наносят ущерб лесному хозяйству, препятствуют сельскохозяйственному использованию земель, могут угрожать жилью и хозяйственным постройкам. Значительные разрушения берегов отмечены на Вилейском (рис. 7), Солигорском, Чижовском, Краснослободском и других водохранилищах. Подробнее разрушения берегов и их последствия рассмотрены в источниках [3, 6, 8, 14].



Рис. 7. Разрушение берегов Вилейского водохранилища

Повреждения и деформации ГТС являются важным, но не единственным фактором риска гидродинамических аварий. Среди других факторов риска можно выделить природные явления (паводки, половодья, ледоход) и человеческий фактор (недостатки в квалификации и дисциплине обслуживающего персонала), а также возможные их сочетания, приводящие к различным сценариям развития событий. Особую опасность представляет одновременное сочетание всех факторов риска. Подробно вопросы определения вероятностей гидродинамических аварий методом дерева отказов рассмотрены в источнике [15].

Заключение. Проведены экспресс-обследования большей части водохранилищ Беларуси, установлено техническое состояние ГТС. Вы-

полнена классификация выявленных повреждений и деформаций ГТС, определены наиболее распространенные повреждения.

Большинство ГТС имеют повреждения и нуждаются в профилактических ремонтных работах, однако состояние ГТС не является критическим и не несет риска гидродинамической аварии в ближайшие 3–5 лет.

Экспресс-обследования показали свою эффективность как средство оценки состояния ГТС. Целесообразно с периодичностью 1–2 года проводить экспресс-обследования всех водохранилищ и крупных прудов для выявления опасных повреждений ГТС, что позволит повысить эффективность мер по профилактике гидродинамических аварий.

Литература

1. Широков В. М. Водохранилища Белоруссии: природные особенности и взаимодействие с окружающей средой. Минск: Университетское, 1991. 207 с.
2. Калинин М. Ю. Водохранилища Беларуси. Минск: Полиграфкомбинат им. Я. Коласа, 2005. 205 с.
3. Левкевич В. Е. Динамика берегов водохранилищ Беларуси руслового, озерного и наливного типов. Минск: Право и экономика, 2015. 216 с.
5. Гражданская защита. Энциклопедия: в 4-х т. Т. 1 (А – И) / под общей ред. В. А. Пучкова. М.: МЧС России: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. 666 с.
7. Малик Л. К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблема безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.
14. Кобяк В. В. Прогноз абразионных процессов на водохранилищах с трансформированным уровнем режимом: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 / Белорусский национальный технический университет. Минск, 2013. 142 с.
15. Пастухов С. М. Оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидроузлах Республики Беларусь, расположенных в каскадах: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.02 / Белорусский Национальный технический университет. Минск, 2011. 158 с.
6. Левкевич В. Е. Переработка берегов малых водохранилищ мелиоративных систем, ее прогноз и управление (на примере Белорусской ССР): дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02. Минск, 1986. 135 с.
12. Cisler J., Kuraz V. Zarizenikesledovanistavu a pohybu v nenasycezemine. Vodni Hospodarstvi. 1971. no. 12, Ser. A. P. 341–344.
13. Bouwer H. Unsaturated flow in groundwater hydraulic. Proc. ASCE. 1964. Vol. 90. No. HY5. P. 17–34.
10. Corey A. T. Measurement of water and air permeability in unsaturated soil. Proc. Soil sci. Soc. Am. 1957. Vol. 21. P. 7–10.
11. Amar S., Dupny H. Etude stir la permeabilite des sols fins mesureeenlaboratoire. Lab. PontsChauss. Rapp. Rech. 1973. No. 23. P. 1–34.
9. Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования. Гідратэхнічныя збудаванні. Будаўнічыя нормы праектавання: ТКП 45-3.04-169-2009. Введ. 30.12.09. Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. 45 с.
8. Аравин В. И, Нумеров С. Н. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений. М.: Стройиздат, 1948. 225 с.
4. Лиштван И. И., Парфенок В. И., Лучков А. И. Экологические проблемы в Белоруссии и пути их научного решения // Экологические проблемы в Белоруссии. 2001. С. 111–116.

References

1. Shirokov V. M. *Vodokhranilishcha Belorussii: prirodnnyye osobennosti i vzaimodeystviya s okruzhayushchey sredoy* [Reservoir of Belarus natural features and interactions with the surrounding the invironment]. Minsk, Universitetskoye Publ., 1991. 207 p.
2. Kalinin M. Yu. *Vodokhranilishcha Belarusi* [Reservoirs of Belarus]. Minsk, Poligrafkombinat im. Ya. Kolasa Publ., 2005. 205 p.
3. Levkevich V. E. *Dinamika beregov vodokhranilishch Belarusi ruslovogo, ozernogo i nalivnogo tipov* [Dinamies of the banks of the reservoirs of Belarus in channel, lake and bulk types]. Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2015. 216 p.

4. Puchkov V. A. *Grazhdanskaya zashchita* [Civil protection]. Moscow, MChS Rossii: FGBU VNII GOChS (FTs) Publ., 2015, vol. 1. 666 p.
5. Malik L. K. *Faktyor riska povrezhdeniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Problema bezopasnosti* [Risk factors for clamage to hyaranlic structures. Problema yego]. Moscow, Nauka Publ., 2015. 354 p.
6. Kobyak V. V. *Prognoz abrazionnykh protsessov na vodokhranilishchakh s transformirovannym urovennym rezhimom*: Dis. kand. tekhn. nauk [Forecast abrasive processes in reservoirs with transformed level. Kand. Diss.]. Minsk, 2013. 142 p.
7. Pastukhov S. M. *Otsenka riska vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy na gidrouzлах Respubliki Belarus', raspolozhennykh v kaskadakh*: Dis. kand. tekhn. nauk [Assessment of the risk of emergencies at hydrosystems of the Republic of Belarus located in cascades. Kand. Diss]. Minsk, 2011. 158 p.
8. Levkevich V. E. *Pererabotka beregov malyykh vodokhranilishch meliorativnykh sistem, ee prognos i upravleniye (na primere Belorusskoy SSR)*. [Treatment of Small Reclamation Ponds Shores, Management and Forecast (as it was in BSSR) Kand. Diss]. Minsk, 1986. 135 p.
9. Cisler J. Kuraz V. *Zarizenikesledovanistavu a pohybu v nenasycenezemine. Vodni gospodarstvi*. 1971, no. 12, ser. A, pp. 341–344.
10. Bouwer H. *Unsaturated flow in groundwater hydraulic Proc. ASCE*. 1964, vol. 90, no. HY5, pp. 17–34.
11. Corey A. T. *Measurement of water and air permeability in unsaturated soil Proc. Soil sci. Soc. Am*. 1957, vol. 21, pp. 7–10.
12. Amar S., Dupny H. *Etude stir la permeabilite des sols fins mesureeenlaboratoire Lab. Ponts Chauss., Rapp. Rech*. 1973, no. 23, pp. 1–34.
13. ТРК 45-3.04-169-2009. *Hydraulic Structures. Construction Design Code*. Minsk, Ministerstvo arkhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus' Publ., 2010. 45 p. (In Russian).
14. Aravin V. I., Numerov S. N. *Fil'tratsionnyye raschety gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Leakoff Estimations for Hydraulic Structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1948. 225 p.
15. Lishtvan I. I., Parphenyuk V. I., Luchkov A. I. *Issues and scientific solutions of environmental problems in Belarus. Ekologicheskiye problemy v Belorussii* [Environmental Issues in Belarus], 2001, pp. 111–116 (In Russian).

Информация об авторах

Касперов Георгий Иванович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: borki1959@mail.ru

Левкевич Виктор Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, Республика Беларусь). E-mail: eco2014@tut.by

Мильман Виктор Абрамович – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией автоматизации ввода видеоинформации. Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6, Республика Беларусь). E-mail: milman@newman.bas-net.by

Бокуть Людмила Валентиновна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Инженерная математика». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, Республика Беларусь). E-mail: blval@mail.ru

Information about the authors

Kasperov Georgiy Ivanovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kgi59@tut.by

Levkevich Victor Evgen'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Water Supply and Water Removal. Belarusian National Technical University (65-1, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: eco2014@tut.by

Mil'man Victor Abramovich – PhD (Physics and Mathematics), Head of the laboratory Automation of Video Information Input. United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: milman@newman.bas-net.by

Bokut' Lyudmila Valentinovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Engineering Mathematics. Belarusian National Technical University (65-1, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: blval@mail.ru

Поступила 20.02.2018