

Academia. Архитектура и строительство, № 1, стр. 115–122.

Academia. Architecture and Construction, no. 1, pp. 115–122.

Исследования и теория

Научная статья

УДК 628(1-21):628.113

doi: 10.22337/2077-9038-2023-1-115-122

Об обеспечении безопасности гидротехнических сооружений прудов и городских прибрежных территорий Московского мегаполиса

Суэтина Татьяна Александровна (Москва). Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64. МАДИ). Эл. почта: t_a_souetina@mail.ru.

Бурлаченко Алёна Владимировна (Москва). Кандидат технических наук. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64. МАДИ). Эл. почта: chtara@mail.ru.

Черных Ольга Николаевна (Москва). Кандидат технических наук, доцент. Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева (Россия, 127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49. РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева). Эл. почта: chon36@mail.ru.

Аннотация: Приведены результаты анализа натурных исследований по оценке технического состояния водных объектов Москвы и методов определения зоны затопления за каскадом прудов в мегаполисе. На основе выполненных исследований сделан расчёт параметров волны прорыва и величины вероятного ущерба в результате аварии гидротехнических сооружений при прорыве напорного фронта ряда столичных прудов различными методами. Проведён анализ полученных результатов расчёта. Показана перспективность перехода к эмпирическим зависимостям для оценки динамики развития аварии с учётом месторасположения плотины в каскаде и отсутствия подпора в нижнем бьефе от нижерасположенной плотины. Даны рекомендации по разработке системы мер по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений, разрушение которых может привести к катастрофическим последствиям для города.

Ключевые слова: водный объект, безопасность, гидротехнические сооружения (ГТС), каскад прудов, ущерб в результате затопления, территория нижнего бьефа

About Safety of Hydraulic Structures of Ponds and Urban Coastal Areas of the Moscow Megalopolis

Suetina Tat'yana A. (Moscow). Doctor of Sciences in Engineering, Professor, Corresponding Member of RAACS. Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (64, Leningradsky prospect, Moscow, Russia. MADI). E-mail: t_a_souetina@mail.ru.

Burlachenko Alena V. (Moscow). Candidate of Sciences in Engineering (Docent). Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (64, Leningradsky prospect, Moscow, Russia. MADI). E-mail: chtara@mail.ru.

Chernykh Ol'ga N. (Moscow). Candidate of Sciences in Engineering, Docent. Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russia. RSAU-MTAA named after K.A. Timiryazev). E-mail: chon36@mail.ru.

Abstract. Assay values of natural researches on assessment of technical condition of water objects of Moscow and methods of definition of a zone of flooding behind a cascade of ponds are given in the megalopolis. On the basis of the executed researches calculation of parameters of a wave of break and size of probable damage as a result of failure of hydraulic structures at break of the pressure head front of a number of capital ponds is made various methods. The analysis of the received results of calculation is carried out. The prospects of transition to empirical dependences for assessment of dynamics of development of accident taking into account a dam location in a cascade and absence a skid in the downstream from the below-located dam are shown. Recommendations about development of the system of measures for safety of hydraulic structures which destruction can lead to catastrophic consequences for the city are made.

Keywords: water body, safety, hydraulic structures (HTS), cascade of ponds, flood damage, downstream area

Водные объекты (водотоки и водоёмы) любого крупного поселения представляют собой комплекс инженерных объектов и гидротехнических сооружений (ГТС), которые вместе с прилегающими территориями составляют значительный экологический, градостроительный и рекреационный потенциал.

Среди требований к Москве как к современному мегаполису в числе прочих существует требование о создании современных экологически благополучных рекреационных зон водных объектов, поддерживающих микроклимат и обеспечивающих комфортную ландшафтную среду с зелёными насаждениями, безопасной работой разнообразных ГТС и водоотводных систем во всех административных округах города. В целом это соответствует современным урбанистическим концепциями создания рекреационных зон и образования туристическо-рекреационных зон в мировой практике городского развития мегаполисов. Наиболее крупные природоохранные рекреационные зоны с ГТС на водных объектах находятся в основном по периметру столичного мегаполиса. Водная система столичного мегаполиса представляет сеть взаимосвязанных ГТС поверхностных и подземных водных объектов, поэтому в соответствии с Федеральным законом 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» (117-ФЗ)¹ [1] особенно важны вопросы технического состояния названных объектов.

В Московском регионе основными являются низконапорные ГТС, часть которых эксплуатируется с 60-х годов прошлого века без реконструкции и ремонта. На данный момент в Московской области 97% ГТС отработали свой нормативный срок, в Москве – 68%. Чтобы принять обоснованные решения о продолжении эксплуатации ГТС, мероприятиях по текущему или капитальному ремонту, консервации или ликвидации ГТС, оценки готовности гидроузла к пропуску паводка, готовности гидротехнического комплекса к локализации и ликвидации опасных повреждений и аварийных ситуаций на отдельных ГТС, необходима информация о техническом состоянии таких объектов.

В Московской области насчитывается более 2000 прудов с плотинами разного класса опасности – от I до IV. Водный

фонд Москвы формируется малыми реками (которых на территории столицы в пределах МКАД насчитывается около 150, причём из них примерно 90 протекают в закрытых коллекторах), прудами (более 800 с учётом ГТС), некоторые из которых по разным причинам даже не зафиксированы на Генплане столицы, четырьмя озёрами и пятью водохранилищами. Из русловых прудов, то есть запруженных на водотоках плотинами, можно выделить в мегаполисе в пределах МКАД приблизительно 170 плотинных прудов с ГТС разного класса опасности. Так, ГТС каскада Царицынских прудов относят к II-му классу опасности, ГТС в парке усадьбы Влахернское-Кузьминки – к III-му. Большинство ГТС прудов Москвы, как, например, пруды Красногвардейского каскада в ЦАО, имеют IV класс опасности [2; 3]. Наиболее известные – каскад прудов в Останкине, Царицыне, Кускове, Люблино, Кузьминках, Михалкове, Покровском-Стрешневе и др. на сегодняшний день практически полностью утратили природные признаки функционирования. Пожалуй, лишь пойменные озёра Серебряного бора сохранили свой природный облик в отличие от Новодевичьих, Новоспасского и Голицынского прудов, имеющих первоначально такое же происхождение, да ещё и пруды каскада ледниковых озёр в Косине. В ЦАО нормально функционируют Пресненские, Патриаршие и Чистые пруды. В густонаселённых районах Москвы в разных административных округах оказались бывшие дворянские усадьбы Узкое, Ясенево, Воронцово, Грачёвка, Алтуфьево и др. со сложными водными системами, находящимися в неудовлетворительном техническом и экологическом состоянии [2–5]. Особенно много таких малых прудов с ГТС сосредоточено на окраине «старой» Москвы в районе МКАД: Бутове Черневе, Братцеве, Куркине, Митине, Солнцева, Переделкине и др., а также в Новой Москве.

Обследование технического состояния низконапорных гидроузлов различного назначения в Московском регионе выполняется сотрудниками кафедры ГТС РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева совместно с кафедрой гидравлики МАДИ и другими специалистами ряда научно-исследовательских и проектных организаций Москвы уже более двадцати лет. Обследования примерно четырёхсот московских прудовых гидроузлов показали, что основную часть из них составляют водоёмы, образованные подпорными ГТС высотой от 3 до 12 м

¹ Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 117-ФЗ (ред. от 28.12.2013) «О безопасности гидротехнических сооружений» (<http://www.kremlin.ru/acts/bank/11222>).

(в «старой» Москве – 40%, в ТИНАО – 94%), 99% из которых – это однородные земляные плотины. На городских гидроузлах устроены водосбросы главным образом закрытого типа (85%), примерно 30% водоёмов непроточные, из них более 40% – пруды-копаны объёмом не более 0,5–0,1 млн куб. м. Большая часть прудов имеет объём менее 0,1 млн куб.м. Каскадность более ста прудов мегаполиса ярко выражена (табл.), при этом водоток сразу за последним гидроузлом каскада забирается в коллектор. Это характерно для прудов в парке усадьбы Покровское-Стрешнево, Красногвардейских, Фермских и Новодевичьих прудов. На прудах в усадьбах Михалково, Останкино, Виноградово, Лианозово, на Бехтеревском пруду и др. за последним гидроузлом располагается небольшой открытый участок русла малой реки. Расстояние между каскадными прудами – не более километра (Битца-Садки, Кусково и др.). Многие из них находятся на озеленённых территориях природного комплекса мегаполиса.

Наиболее неблагоприятная аварийная ситуация с точки зрения безопасности для городских территорий, граничащих

Таблица. Основные столичные водотоки, обследованные в 2014–2020 годы сотрудниками РГАУ–МСХА и МАДИ

№	Место нахождения водотока (река, ручей)	Пруды, ед.	Каскады, ед.
1	Городня	21	3
2	Лихоборка	8	2
3	Пономарка	6	2
4	Яуза	12	2
5	Чурилиха	9	2
6	Очаковка	11	2
7	Натошенка	10	1
8	Чечера	5	1
9	Битца	10	2
10	Чура	13	2
11	Чертановка	7	1
12	Сходня	15	2
13	Чернушка	9	1
14	Чара	6	1
15	Каменка	9	1
16	Глинуша	5	1
17	Самородинка	5	1
18	Норишка	7	1
19	Мерянка	2	1
20	Малинский	6	1
21	Студенец	5	2
22	Алёшин	4	1
23	Фермский	3	1
24	Путяевский	6	1

с водными объектами, складывается, когда пруды каскада отделены друг от друга перегораживающими дамбами или плотинами (пруды в столичных усадьбах Узкое, Чёрнево, Михалково, Покровское-Стрешнево, Царицыно и др.). При этом возможные повреждения или разрушения плотины либо водосброса вышележащего пруда могут стать критичными для всего каскада. Примерно 12% из общего числа обследованных плотин прудов находятся в потенциально опасном (в соответствии с терминологией Российского регистра ГТС²) или в технически аварийном состоянии вследствие недопустимо малого запаса гребня плотины над уровнем верхнего бьефа (например, пруд № 2 в Толстопальцеве) или из-за высачивания фильтрационных вод на низовом откосе (зона отдыха на Битцевской плотине, плотины между прудами в Черневе, на одной из самых высоких плотин Москвы на Барышихинском пруду – 11 м, плотины каскада Царицынских прудов и др.). При этом надо отметить, что наибольшее количество бесхозных ГТС в РФ по данным Ростехнадзора находится в Московской области (17%), хотя в 2020–2022 годах наблюдается устойчивая тенденция снижения их количества. В Москве с проведением ремонтных работ и передачей ряда бесхозных ГТС в эксплуатацию ГУП «Мосводосток» с последующим их переводом в собственность города количество бесхозных ГТС сократилось до 7%.

Планируемые ранее среднесрочная и долгосрочная программы восстановления ежегодно порядка 10–18 городских водных объектов Москвы, рассчитанные до 2020 года, выполнены не были, и около 82% прудов Москвы, испытывающих повышенную техногенную нагрузку, находились в 2000–2018 годах в неудовлетворительном экологическом и потенциально опасном техническом состоянии. Это обусловлено тем, что территория их нижнего бьефа плотно застроена (Царицыно, Красная Пресня, Покровское-Стрешнево и др.) либо изобилует различными коммуникациями в промзонах (Очаково, Борисово, Люблино, и др.), но продолжает интенсивно использоваться жителями и гостями столицы, невзирая на то, что срок эксплуатации ГТС исчерпан. Для сохранения экологического каркаса Москвы Департаментом жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства Москвы и Департаментом природопользования и охраны окружающей среды ещё десятилетие назад был сделан упор на обновление и восстановление наиболее крупных рек Москвы и Московской области, на которых имеются водные сооружения (Яуза, Сетунь, Москва-река и др.).

В рамках выполнения задач, поставленных Правительством Москвы по возрождению традиции летнего пляжного отдыха на берегах московских водных объектов, компенсации уменьшения количества купальных прудов, разгрузке действующих водных объектов в Москве, вместо обеспечения надёжной работы ГТС, всё чаще стали появляться предложения на набережных, в парках старинных усадеб (имеющих водоёмы, техническое

² <http://waterinfo.ru/cgi-bin/RG/nph-s6b>.

состояние которых аварийное или потенциально опасное, а экологическое – неудовлетворительное) устраивать мобильные либо сезонные бассейны (Фили, Сокольники, Студенец, Покровское-Стрешнево, Измайлово, ВДНХ, Тушино и пр.), что неоднозначно воспринимается москвичами. С инженерной точки зрения ясно, что ограничиваться только расчисткой водоёмов и рек (в Подмосковье по программе «Сто прудов» расчистили за 2021–2022 годы 106 водоёмов и 11 рек, в Москве – около 40) недостаточно. Чтобы сделать городские территории комфортными и безопасными для жизни, необходимо определить уровень безопасности и зоны затопления при возможной гидрологической аварии, например, при прорыве напорного фронта городских гидроузлов, а также оценить вероятный вред/ущерб при аварии на ГТС, способы их реновации.

Проведение визуальных натурных обследований, полевых измерительных работ и анализ их результатов для водных систем и отдельных ГТС столичного мегаполиса выполнены на основе методологии ФГОУ ВПО МГУП Природообустройства, усовершенствованной в РГАУ-МСХА [4]. При этом определялись основные технические параметры ГТС, необходимые для оценки состояния и уровня безопасности ГТС:

по водоёму – глубина у плотины, ориентировочные плановые размеры; отметки НПУ и дна в пруду;

для грунтовой плотины – отметка гребня плотины, ширина, длина и состояние элементов гребня плотины, превышение гребня грунтовой плотины над уровнем верхнего бьефа, заложение и состояние надводной части верхового и низового откосов, тип и параметры крепления откосов плотины и береговых примыканий, оценка выходов фильтрационного потока в нижнем бьефе;

по водопропускному сооружению – основные параметры входного участка с оголовком, размеры пролётов, быки транзитной части водосбросов (открытой в виде канала, лотка быстроток или водоската, и закрытой – трубчатого типа), устройство нижнего бьефа (водобоя, рисбермы, концевое крепление, отводящего тракта и т.п.).

Оценивалось техническое состояние каждого ГТС и городского гидроузла в целом, при этом описывались повреждения сооружений с вычленением среди них наиболее значимых, способных привести к аварии на ГТС в процессе эксплуатации и, в частности, при пропуске расходов редкой повторяемости; составлялась схема компоновки гидроузла, на которую наносились ГТС, их основные параметры и места возможных повреждений по фотоснимкам; оценивалась возможность аварии на малом гидроузле (в том числе и с прорывом напорного фронта³), выполнялись расчёт волны прорыва, величины возможного ущерба и степени опасности для территорий нижнего бьефа [6; 7].

Расчёт параметров волны прорыва и зон возможного затопления является одной из важнейших составных частей

Декларации безопасности ГТС, будь то плотина крупной ГЭС или малого рекреационного запруженного водоёма на территории мегаполиса [6; 7]. Оценка вероятного вреда/ущерба для 30 гидроузлов «старой» Москвы и 164 гидроузлов ТИНАО, выполненная по договору с ГУП «Мосводосток» (на балансе которого находится более 250 наиболее значимых водных объектов столицы) для интенсификации проведения эксплуатационно-ремонтных работ, производилась для принятого сценария аварии ГТС (наиболее вероятного и наиболее тяжёлого по последствиям) (рис. 1) [8–11].

Среди обследованных гидроузлов характерным является гипотетический прорыв грунтовой плотины, перегораживающей русло двух типов: 1 – при отсутствии в нижнем бьефе жилых домов, производственных объектов, объектов транспорта и связи, ценных земель, лесных массивов, участков ООПТ, попадающих в зону затопления и вызывающих ущерб для третьих лиц (каскад в Малине, Черневе); 2 – в зону затопления попадают часть домовых владений, дороги и пр. за последней плотиной каскада (Виноградово) [8; 12], причём вероятный вред от аварии плотины прудового гидроузла в последнем случае оказывается незначительным (не более 1 млн руб.). Границы зон затопления территорий нижнего бьефа определялись с помощью программ, базирующихся на эмпирических зависимостях: MIKE11 (Дания), программный комплекс «Бор» (ОАО НИИЭС), «Волна-14» (методика МЧС РФ), упрощённая программа МГУП Природообустройства для урбанизированных территорий АПК, апробированная на 800-ах подмосковных и московских низконапорных гидроузлах IV класса (всего порядка 1800 ГТС) [7; 9; 10]:

$$h_{max} = 2,6W_{вод}^{-0,05}H_0^{0,98}n_0^{0,02}Q_0^{0,05}x^{-0,13} \quad (1)$$

где $W_{вод}$ – объём водохранилища в верхнем бьефе до начала аварии, м³; H_0 – глубина водохранилища у плотины до начала аварии, м; n_0 – коэффициент шероховатости русла верхнего бьефа; x – расстояние от створа плотины до створа наблю-



Рис. 1. Блок-схема анализа вероятных сценариев возникновения и развития аварии на гидроузле с грунтовой плотиной. Схема авторов статьи

³ Напорный фронт – совокупность водоподпорных сооружений, воспринимающих напор; длина напорного фронта – протяжённость напорного фронта, измеряемая по гребню водоподпорных сооружений.

дений, м; Q_0 – расход воды в нижнем бьефе гидроузла до начала аварии, м³/с.

Доказано, что при отсутствии необходимых данных, входящих в зависимость (1), возможно использование компилятивной зависимости:

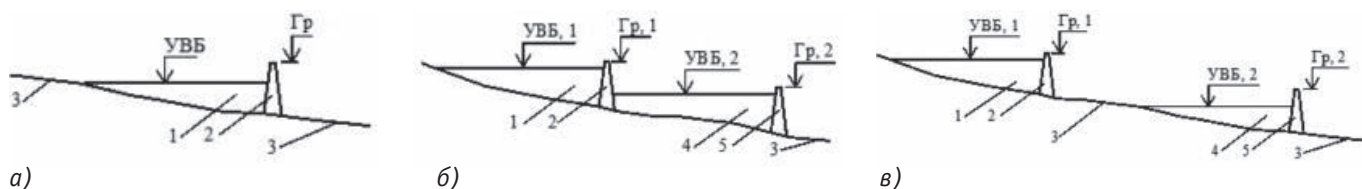
$$h_{max} = 0,34H_0 \left(\frac{x}{H_0} \right)^{-0,13} \quad (2)$$

Формула (2) справедлива в следующих границах: объём водоёма $W_{вод}$ от 50 до 5000 тыс. м³; глубина воды в верхнем бьефе у плотины $H_0 = 2...20$ м; расход воды в нижнем бьефе гидроузла до начала аварии $Q_0 = 1...100$ м³/с; длина пруда 0,8...2 км; расстояние от створа плотины до рассматриваемого сечения $x = 0,5...50$ км; коэффициент шероховатости $n_0 = 0,02...0,2$. Призматическое отводящее русло должно иметь треугольное поперечное сечение и постоянный продольный уклон дна. Таким образом, корректное определение параме-

тров волны прорыва наиболее простыми инженерными методами, позволяющими оперативно оценить степень опасности низконапорного гидроузла для нижнего бьефа, применимо не на всех водных объектах столицы.

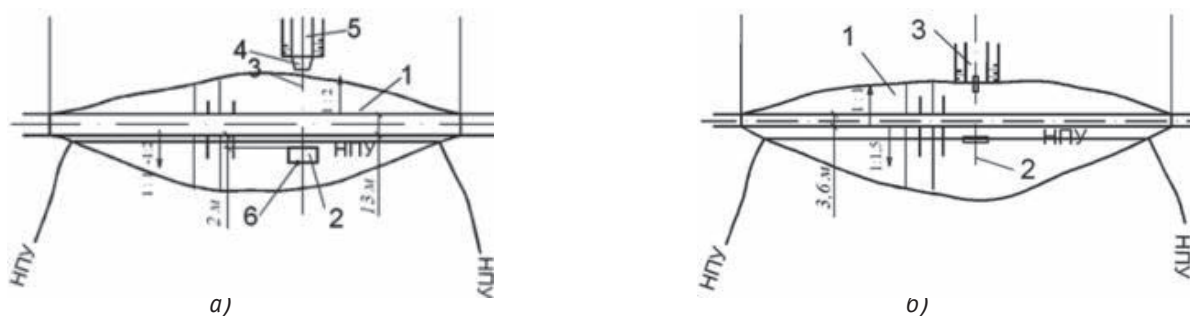
При проведении расчётов использовались крупномасштабные топографические планы, на которые накладывались реальные космоснимки объектов, установленных в процессе визуального обследования; а также параметры ГТС гидроузлов, включая определённые с помощью GPS-приёмников отметки НПУ, гребня плотины, отводящего русла (поскольку для 78% столичных гидроузлов проектные материалы от-

⁴ Проран – свободная (не перекрытая) часть русла реки, предназначенная для пропуска воды при строительстве гидротехнического сооружения; либо узкий проток в косе, отмели или спрямлённый участок реки, образовавшийся в результате прорыва излучины в половодье. Также прораном называют промоину, образующуюся при прорыве водным потоком напорного гидротехнического сооружения, например дамбы или земляной плотины.



1 и 4 – выше и ниже лежащий водоёмы, образованные соответственно плотинами 2 и 5; 3 – участки естественного русла

Рис. 2. Расчётные схемы расположения водоёмов: а) при отсутствии выше и ниже расположенных прудов; б, в) каскадное расположение водоёмов. Соответственно б) при подпоре вышерасположенной плотины нижележащим прудом; в) при наличии участка естественного русла между вышележащей плотиной и нижележащим прудом. Схема авторов статьи



1 – плотина; 2 – входной оголовок водосброса; 3 – ось водосброса; 4 – выходной оголовок водосброса; 5 – отводящий канал; 6 – водовыпуск

Рис. 3. Компонировочная схема размещения ГТС нижних прудов каскада в исторических усадьбах Москвы: а) на реке Чуре в Чернево, Южное Бутово, ЮЗАО; б) на реке Мерянке в Виноградове, район Северный, СВАО. Схема авторов статьи

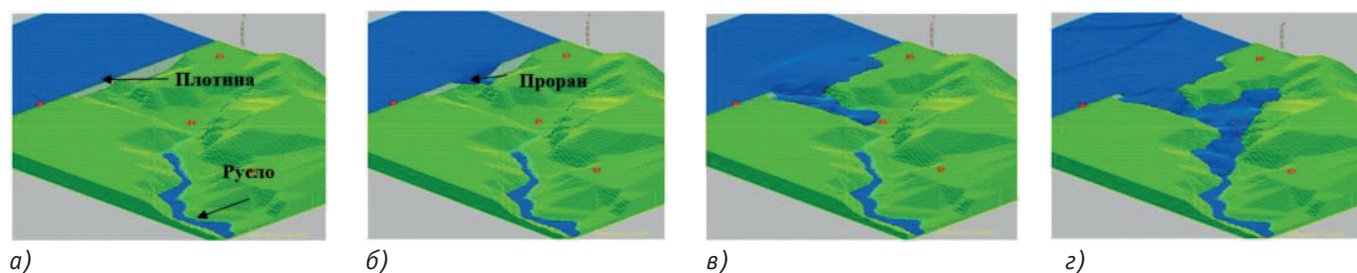


Рис. 4. Последовательность реализации сценария аварии с прорывом напорного фронта плотины, построенная на основе программного комплекса «БОР»: а) наполнение водоёма до гребня плотины; б) перелив через гребень плотины и начало формирования прорана; в) развитие прорана по глубине и ширине; г) продвижение волны прорыва и расширение зоны затопления при снижении уровня воды в водоёме. Визуализация авторов статьи

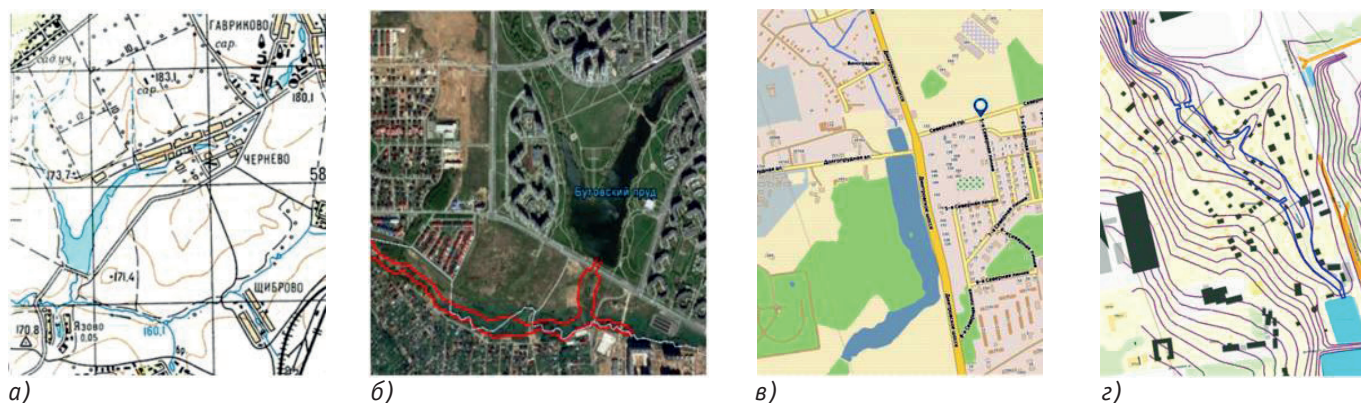


Рис. 5. План каскада прудов и возможных границ зон затопления в нижнем бьефе каскада при возможном прорыве грунтовых плотин в столичных усадьбах Чернево (а, б) и Виноградово (в, г). Зоны показаны соответственно красным и синим цветом

сутствуют), другие параметры, необходимые для расчётов и установленные в процессе обследований. Рассматривались расчётные схемы как одиночного гидроузла (рис. 2 а и 3), так и каскадного расположения водоёмов (рис. 2 б, в). Они различаются только расположением водоёмов по отношению к рассматриваемой плотине, вероятный вред от разрушения которой должен быть рассчитан. Для расчёта принимался сценарий с прорывом грунтовой плотины (рис. 4).

Расчёты и анализ вероятных ситуаций аварий позволили вычлнить ряд гидроузлов с прудами-копанями, а также с плотинными прудами, где нижний бьеф засыпан и спланирован, поэтому вероятность образования волны прорыва и зон затопления ничтожно мала (Патриарший пруд, каскад Красногвардейских прудов, Владимирский пруд, Большой Садовый пруд и др.). Примеры зон затопления при разрушении одной из плотин каскада прудовых гидроузлов пригородных усадеб Москвы приведены на рисунках 4 и 5, соответственно для двух каскадов прудов с типизированными ГТС (см. рис. 3) в разных округах столицы: усадьбах Чернево в ЮЗАО (каскад из четырёх прудов) и Виноградово (каскад из двух прудов) в СВАО.

Анализ известных программ и методик по прогнозированию границ затопления местности и характеристик волны прорыва при гипотетическом разрушении низконапорных гидроузлов с грунтовым подпорным сооружением показал (рис. 6), что расчёт по модифицированной программе «Волна» ВНИИ ГОЧС (см. рис. 5 г для каскада в Виноградово) по сравнению с другими упрощёнными методами по зависимостям (1) и (2) даёт завышенный результат (например, для зоны затопления ниже каскада в Черневе, приведённой на рисунке 5 б и 6). При этом средняя относительная ошибка аппроксимации зависимостью (1) по сравнению с проведением полноценного расчёта по методике Б.Л. Историка составляет 12,8%.

Методика расчёта возможного социального, экологического и материального ущерба в настоящее время детально разработана, его определение является обязательным элементом декларирования безопасности ГТС, регистрации ГТС в Российском регистре ГТС и получении в Ростехнадзоре разрешения на эксплуатацию.

Количественные характеристики ущерба могут быть определены, например, по методике Ростехнадзора [8; 11] на основании параметров волны прорыва. Так, расчётами по оценке вероятного ущерба в результате аварии ГТС мегаполиса было установлено, что разрушение напорного фронта плотин городских гидроузлов может привести к общему ущербу для нижнего бьефа примерно в 150 млн руб., а одной земляной плотины в среднем – 4 млн руб. (в ценах 2015 года). При этом разрушение грунтовых плотин в ТИНАО, где строительство жилых массивов и промышленное освоение территорий идёт интенсивно, ни один из рассмотренных случаев разрушения плотин не затрагивает населённые пункты несмотря на то, что ущерб от аварии на ГТС имеет тенденцию к резкому росту. В этом административном округе характер вероятных ЧС в 30% случаев может носить региональный характер, в 24% – межмуниципальный; 11% – муниципальный, и для 16% гидроузлов – локальный. Для прудов «старой» Москвы в целом реализация наиболее тяжелого и одновременно наиболее вероятного сценария потенциально возможной аварии в случае возник-

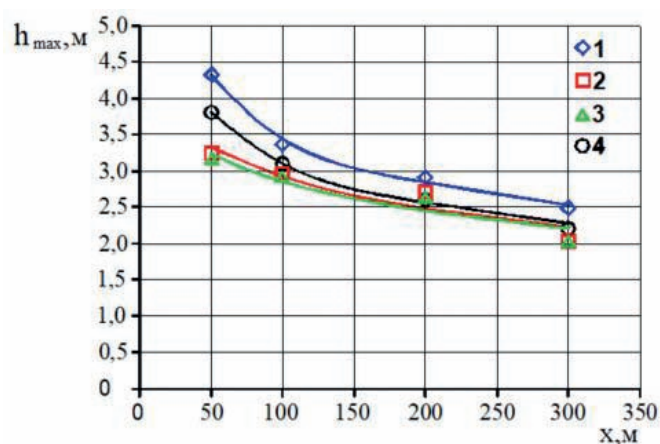


Рис. 6. График зависимости $h_{max} = f(x)$ за грунтовой плотинной в нижнем бьефе каскада прудов в Черневе, построенный по методикам [13; 14]: 1 – ВНИИ ГОЧС; 2 – МГУПриродообустройства; 3 – по упрощённой компилятивной зависимости; 4 – программному комплексу НИИЭС (данные авторов статьи)

новения ЧС не вызовет угрозы для окружающей территории. Для ряда прудовых гидроузлов столицы расчётный ущерб составил менее 100 млн руб. (за каскадами прудов в Чернёве, Виноградове, Малине и др. ГТС низкой опасности IV класса). Подобная ситуация в соответствии с Постановлением Правительства РФ [11–13] не требует дополнительных мер по повышению пропускной способности существующих водосбросов и наращиванию гребня плотин, то есть проведения срочной реновации ГТС водных объектов. Исключение составляет последний пруд Царицынского каскада – Борисовский гидроузел (II класс опасности), где окончательное решение проблемы в перспективе для прибрежной территории не однозначно.

* * *

Состояние большого количества напорных ГТС столичного мегаполиса не отвечает требуемому уровню безопасности. Назрела необходимость создания концепции восстановления городских, в том числе исторических ГТС при образовании историко-культурных и безопасных природно-рекреационных зон для полноценного отдыха, познавательного и культурного досуга населения Москвы, развития внутреннего туризма, пляжного отдыха и спорта; разработки проектов экореабилитации и восстановления прудовых гидроузлов, улучшения экологического состояния водоёмов, рек и парковых водных систем. Показана допустимость перехода к эмпирическим зависимостям для оценочных расчётов динамики развития аварии с учётом месторасположения плотины в каскаде и отсутствия подпора в нижнем бьефе от нижерасположенной плотины.

Необходима систематизация сведений по водным объектам Московского мегаполиса, а именно: составление единого списка всех водоёмов Москвы с основными параметрами, оценкой современного технического состояния, балансовой принадлежностью, указанием эксплуатирующих организаций и собственников; в столичном регистре ГТС должна периодически пополняться и храниться достоверная информация по качественным и количественным показателям, критериям безопасности отдельных ГТС мегаполиса и соответствию их требованиям Федеральному закону «О безопасности ГТС»; проведение мониторинга водных объектов мегаполиса и оценка синхронизации работ по организации охраны и благоустройства водоёмов с работами, проводимыми по программе «Мой район», программой реновации жилой застройки в Москве, а также а рамках иных программ благоустройства и развития городской среды; составление деклараций безопасности городских гидроузлов низкого класса опасности разного назначения, в том числе разработка проектов восстановления исторических водных сооружений и природоохранных гидроузлов с элементами гидропластики. Необходима разработка критериев возможности дальнейшей эксплуатации городских и пригородных водоёмов при предотвращении или минимизации воздействия плотин на окружающую среду (ликвидация, реновация или консервация) для чего

следует продолжить мониторинг состояния городских водных объектов, находящихся как в центральных, так и в новых районах мегаполиса.

Список источников

1. Козлов, Д.В. Безопасность и эксплуатационная работоспособность гидротехнических сооружений на водных объектах крупных городов (на примере Московского мегаполиса) / Д.В. Козлов. – Текст : электронный // Наука и инновационные технологии на службе водной безопасности : Сборник научных трудов Сети водохозяйственных организаций Восточной Европы, Кавказа, Центральной Азии. 2019. – Вып. 13. – С. 25–32. – URL: http://cawater-info.net/library/rus/eecca_papers_collection_vol_13_2019.pdf (дата обращения: 19.02.23).
2. Яшкова, М.С. Воссоздание малых прудов на территории Москвы / М.С. Яшкова, В.И. Алтуни, А.В. Алтунина, О.Н. Черных. – Текст : непосредственный // Вопросы мелиорации. – 2010. – № 3-4. – С. 71–79.
3. Алтуни, В.И. Оценка безопасного состояния низконапорных гидроузлов в Москве / В.И. Алтуни, О.Н. Черных. – Текст : непосредственный // Вестник МАДИ. – 2014. – № 2. – С. 81–87.
4. Каганов, Г.М. Приближённая оценка глубины затопления территории в нижнем бьефе при прорыве напорного фронта низконапорных гидроузлов / Г.М. Каганов, В.И. Волков, И.А. Секисова. – Текст : непосредственный // Гидротехническое строительство. – 2010. – № 4. – С. 26–37.
5. Суэтина, Т.А. Инновационный альбом РААСН выпуск 2021 к 30-летию РААСН / Т.А. Суэтина, А.В. Бурлаченко, О.Н. Черных. – URL: <http://raasn.ru/upload/iblock/807/organized.pdf> (дата обращения 17.01.2023). – Текст : электронный.
6. Suetina, T.A. Assessment of the possibility of local object to be flooded in megalopolis as a result of a hydraulic system breakage in the area of a transport tunnel / T.A. Suetina, O.N. Chernykh and A.V. Burlachenko. – Текст : электронный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 1 June 2021. – № 1, v. 1159. – URL: <https://structurae.net/en/literature/periodicals/iop-conference-series-materials-science-and-engineering/64814-1159-1> (дата обращения 18.01.2023)
7. Волков, В.И. Обследование и анализ состояния гидротехнических сооружений ТИНАО г. Москвы / В.И. Волков, М.А. Сабитов. – Текст : непосредственный // Труды Академии проблем водохозяйственных наук. – 2018. – Вып. 12. – С. 58–65.
8. Волков, В.И. Оценка условий и последствий прорыва напорного фронта речного гидроузла / В.И. Волков, О.Н. Черных, В.И. Алтуни, И.А. Секисова – Москва : РГАУ-МСХА, 2015. – 179 с. – Текст : непосредственный.
9. Волков, В.И. Оценка вероятного ущерба в результате аварии гидротехнических сооружений при прорыве напорного фронта речного гидроузла / В.И. Волков, О.Н. Черных, В.И. Алтуни, Е.В. Добровольская. – Текст : непосредственный. – Москва : РГАУ-МСХА, 2015. – 141 с.

10. Черных, О.Н., Проведение обследований при оценке безопасности гидротехнических сооружений / О.Н. Черных, В.И. Волков. – Москва : Росинформгротех, 2017. – 160 с. – Текст : непосредственный.

11. Волков, В.И. Оценка безопасности водосбросных сооружений при грунтовых плотинах / О.Н. Черных, В.И. Волков. – Москва : РГАУ-МСХА, 2019. – 118 с. – Текст : непосредственный.

12. Суэтина, Т.А. Обеспечение экологической безопасности при строительстве водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур / Т.А. Суэтина, В.И. Алтунин, О.Н. Черных. – Текст : непосредственный // Academia. Архитектура и строительство. – 2015. – № 2. – С. 125–128.

13. Черных, О.Н. Особенности технического мониторинга прудов на территории центра Москвы / О.Н. Черных, В.И. Алтунин. – Текст : непосредственный // Природообустройство. – 2015. – № 1. – С. 66–71.

References

1. Kozlov D.V. Bezopasnost' i ekspluatatsionnaya rabotosposobnost' gidrotekhnicheskikh sooruzhenii na vodnykh ob'ektakh krupnykh gorodov (na primere Moskovskogo megapolisa) [Safety and operational operability of hydraulic structures on water objects of the large cities (on the example of the Moscow megalopolis)]. In: *Nauka i innovatsionnye tekhnologii na sluzhbe vodnoi bezopasnosti* [Science and Innovative Technologies on Service of Water Safety], Collection of Scientific Works of Network of the Water Management Organizations of Eastern Europe, Caucasus, Central Asia, 2019, Iss. 13, pp. 25–32. URL: http://cawater-info.net/library/rus/eecca_papers_collection_vol_13_2019.pdf (Accessed 02/19/23) (In Russ.)

2. Yashkova M.S., Altunin V.I., Altunina A.V., Chernykh O.N. Vossozhdanie mal'kh prudov na territorii Moskvy [Reconstruction of Small Ponds in the Territory of Moscow]. In: *Voprosy melioratsii* [Questions of Melioration], 2010, no. 3-4, pp. 71–79. (In Russ.)

3. Altunin V.I., Chernykh O.N. Otsenka bezopasnogo sostoyaniya nizkonapornykh gidrouzlov v Moskve [Assessment of a Safe Condition of Low-Head Water Power Development in Moscow]. In: *Vestnik MADI* [Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)], 2014, no. 2, pp. 81–87. (In Russ., abstr. in Engl.)

4. Kaganov G.M., Volkov V.I., Sekisova I.A. Priblizhennaya otsenka glubiny zatopeniya territorii v nizhnem b'efe pri proryve napornogo fronta nizkonapornykh gidrouzlov [Approximate Assessment of Depth of Flooding of the Territory in the Downstream at Break of the Pressure Head Front of Low Pressure Water-Engineering Systems]. In: *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], 2010, no. 4, pp. 26–37. (In Russ.)

5. Suetina, T.A. Burlachenko A.V., Chernykh O.N. Innovatsionnyi al'bom RAASN vypusk 2021 k 30-letiyu

RAASN [An Innovative Album of RAACS Release of 2021 to the 30 Anniversary of RAACS]. URL: <http://raasn.ru/upload/iblock/807/organized.pdf> (Accessed 01/17/2023). (In Russ.)

6. Suetina T.A., Chernykh O.N. and Burlachenko A.V. Assessment of the Possibility of Local Object to be Flooded in Megalopolis as a Result of a Hydraulic System Breakage in the Area of a Transport Tunnel. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol/ 1159, 14th–16th December 2020, 1159 012016. URL: <https://structurae.net/en/literature/periodicals/iop-conference-series-materials-science-and-engineering/64814-1159-1> (Accessed 01/18/2023) (In Engl.)

7. Volkov V.I., Sabitov M.A. Obsledovanie i analiz sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzhenii TINA O g. Moskvy [Inspection and Analysis of a Condition of Hydraulic Structures of Troitsk and Novomoskovsk Administrative Districts of Moscow]. In: *Trudy Akademii problem vodokhozyaistvennykh nauk* [Works of Academy of Problems of Water Management Sciences], 2018, Iss. 12, pp. 58–65. (In Russ.)

8. Volkov V.I., Chernykh O.N., Altunin V.I., Sekisova I.A. Otsenka uslovii i posledstviy proryva napornogo fronta rechnogo gidrouzla [Assessment of Conditions and Consequences of Break of the Pressure Head Front of the river Water-Engineering System]. Moscow, RGAU-MSKhA Publ., 2015, 175 p. (In Russ.)

9. Volkov V.I., Chernykh O.N., Altunin V.I., Dobrovolskaya E.V. Otsenka veroyatnogo ushcherba v rezul'tate avarii gidrotekhnicheskikh sooruzhenii pri proryve napornogo fronta rechnogo gidrouzla [Assessment of Probable Damage as a Result of Failure of Hydraulic Structures at Break of the Pressure Head Front of The River Water-Engineering System]. Moscow, RGAU-MSKhA Publ., 2015, 141 p. (In Russ.)

10. Chernykh O.N., Volkov V.I. Provedenie obsledovaniy pri otsenke bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenii [Carrying out Inspections at Assessment of Safety of Hydraulic Structures]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2017, 160 p. (In Russ.)

11. Chernykh O.N., Volkov V.I. Otsenka bezopasnosti vodosbrosnykh sooruzhenii pri gruntovykh plotinakh [Assessment of Safety of Sluice-Way Structures at Soil Dams]. Moscow, RGAU-MSKhA Publ., 2019, 118 p. (In Russ.)

12. Suetina T.A. Obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti pri stroitel'stve vodopropusknykh sooruzhenii iz metallicheskih gofirovannykh struktur [Ensuring Environmental Safety in the Construction of Culverts Made of Corrugated Metal Structures]. In: *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and construction], 2015, no. 2, pp. 125–128. (In Russ., abstr. in Engl.)

13. Chernykh O.N., Altunin V.I. Osobennosti tekhnicheskogo monitoringa prudov na territorii tsentra Moskvy [Features of Technical Monitoring of Ponds in the Territory of the Center of Moscow]. In: *Prirodoobustroistvo*, 2015, no. 1, pp. 66–71. (In Russ.)