

УДК 556.556(571.150)

**Оценка последствий гидродинамической аварии на Склюихинском водохранилище по имитационным параметрам волны прорыва плотины**

*Е.С. Яценко<sup>1</sup>, Д.А. Анисимова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

**Assessment of the Hydrodynamic Accident Consequences on Sklyuiha Reservoir According to the Simulation Dam Break Wave Parameters**

*E.S. Yatsenko<sup>1</sup>, D.A. Anisimova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Altai State University (Barnaul, Russia)

Проблемы безопасности на объектах гидротехнического комплекса р. Алей имеют особое значение, поскольку связаны не только с возможным затоплением территорий, но и с перебоями в водо- и энергоснабжении населенных пунктов в случае аварий. В связи с вышеизложенным целью настоящей работы стала оценка последствий гидродинамической аварии на Склюихинском водохранилище по имитационным параметрам волны прорыва плотины.

Представлены особенности Склюихинского водохранилища как объекта водопользования Рубцовска (Алтайский край). Произведена оценка инженерной обстановки при гидродинамических авариях на Склюихинском водохранилище и основных последствий возможного затопления в населенных пунктах ниже водохранилища. Произведены расчеты времени подхода волны прорыва, высота волны прорыва и продолжительности прохождения волны прорыва.

Минимизация последствий аварийных ситуаций на ГТС во многом основывается на возможности оперативного принятия адекватных решений в условиях скоротечного изменения окружающей обстановки. Принятие обоснованных решений именно на начальных стадиях развития и ликвидации аварийной ситуации в наибольшей степени может обеспечить эффективное использование имеющихся сил и средств для скорейшей ликвидации аварии и минимизации ее последствий. Прогнозирование гидрологических чрезвычайных ситуаций по имитационным параметрам необходимо для оперативного информирования, управления и координации действий руководителей и специалистов служб и подразделений.

**Ключевые слова:** плотина, гидродинамическая авария, оценка инженерной обстановки при гидродинамических авариях.

The security problems on the objects of the Aley River water complex are of the particular importance as they relate not only to the possibility of flooding, but also of the interruptions in water and energy sources for the settlements in case of accidents. In consideration of the foregoing premises the aim of this work was to evaluate the consequences of the hydrodynamic accident on Sklyuiha Reservoir according to the simulation dam break wave parameters.

The article presents the features of Sklyuiha Reservoir as the object of water use by Rubtsovsk city (Altai Krai). The engineering situation in hydrodynamic accidents on Sklyuiha Reservoir has been evaluated. Also the main consequences of possible flooding on the populated areas below the reservoir have been revealed. The time of break wave approach, wave height and duration of the break wave coming have been calculated.

Minimizing of the accident consequences on the hydrotechnical constructions is based mostly on the ability of operational adequate decision-making under the conditions of rapid environment changes. Reasonable decision-making at the initial stages of development and the elimination of emergency is the best way to make effective use of available forces and resources for the early elimination of accidents and minimizing its consequences. Hydrological accidents forecasting according to the simulation parameters is necessary for operational information, management and coordination of managers and specialists in services and departments.

**Key words:** dam, hydrodynamic accident, assessment of the engineering situation in hydrodynamic accidents.

DOI 10.14258/izvasu(2014)3.2-25

Плотины из грунтовых материалов, зачастую являющихся основным элементом напорного фронта гидроузлов, представляют собой источник наибольшей потенциальной опасности. Опасными последствиями при авариях на гидротехнических сооружениях (ГТС) являются прорыв напорного фронта и возникновение волны прорыва, распространяющейся в нижнем бьефе гидроузла [1, с. 3]. Затопление территории приводит не только к огромным материальным потерям и негативному воздействию на окружающую природную среду, но и к человеческим жертвам.

Безопасность эксплуатации гидротехнического комплекса р. Алея имеет особое значение, так как гидродинамическая авария приведет не только к затоплению территорий, но и к перебоям в водо- и энергоснабжении населенных пунктов.

В связи с вышеизложенным целью работы стала оценка последствий гидродинамической аварии на Склюихинском водохранилище по имитационным параметрам волны прорыва плотины.

Для ее реализации поставлены следующие задачи:

- 1) выявить специфику Склюихинского водохранилища;
- 2) оценить инженерную обстановку при гидродинамических авариях на Склюихинском водохранилище;
- 3) представить рекомендации для предотвращения гидродинамических аварий на объектах водопользования Рубцовска.

Начальной фазой гидродинамической аварии является прорыв плотины, который представляет собой процесс образования прорана и неуправляемого потока воды водохранилища из верхнего бьефа через проран (участок перелива воды через гребень плотины) в нижний бьеф. Во фронте устремляющегося в проран потока воды образуется волна прорыва. Вслед за фронтом волны прорыва высота ее начинает интенсивно возрастать, достигая через некоторый промежуток времени максимума, называемого гребнем волны прорыва, который движется, как правило, медленнее ее фронта. В результате подъема волны происходит затопление поймы и прибрежных участков местности. Площадь и глубина затопления зависят от параметров волны прорыва и топографических условий местности. После прекращения подъема наступает более или менее длительный период движения потока, близкий к установившемуся. Этот период тем длительнее, чем больше объем водохранилища. Последней фазой образования зоны затопления является спад уровней воды. Хвост волны (конец волны) движется еще медленнее, чем ее гребень. После прохождения волны прорыва русло реки обычно сильно деформируется вследствие большой скорости течения воды в волне прорыва [2].

В настоящее время Алей является самой зарегулированной рекой Алтайского края. С целью реше-

ния проблем водообеспечения населения, сельского хозяйства и промышленности на Алее построен ряд гидротехнических сооружений. В состав гидротехнического комплекса Алея входят: Гилевский гидроузел, подпорная плотина у с. Веселоярска, подпорное сооружение у Рубцовска, Склюихинское водохранилище.

Гидроузел на р. Алее у Рубцовска предназначен для обеспечения бесперебойного водоснабжения предприятий и населения города. Эксплуатация всех составляющих этого комплекса должна производиться в строгой увязке между собой. Главной целью технической эксплуатации является обеспечение безаварийного режима работы гидроузла и входящих в его состав сооружений [3, с. 5].

Склюихинское водохранилище наливное, без боковой приточности, образовано путем одамбирования части русла и поймы протоки Склюихи с примыканием восточной частью к коренному берегу. Наполняется водохранилище за счет принудительной подачи воды из Алея насосной станцией Рубцовского водозаборного гидроузла в летне-осенний период. Назначение Склюихинского водохранилища — резервный источник водоснабжения Рубцовска.

Объем водохранилища — 38,6 млн м<sup>3</sup>, площадь — 5,82 км<sup>2</sup>, уровень воды — 222,50 м абс. Склюихинское водохранилище — обособленный объект (водоем), не входящий в состав основного водозаборного гидроузла [4, с. 4].

Плотина (дамба) земляного типа, насыпная (суглинок). Отметка гребня — 224,5 м. Максимальная высота — 10,0 м. Тип крепления верхового откоса — монолитные железобетонные плиты толщиной в верхнем поясе 200 мм и в нижнем поясе — 300 мм.

Долина пр. Склюихи расположена на правобережной части (восточной) Алейской степи. В месте расположения водохранилища примыкающая территория с запада — плоская равнина, частично заболоченная, с выходами на поверхность солончаков, не имеет древесной растительности. С восточной стороны (справа от русла) примыкает коренной берег высотой до 20 м средней крутизны. В долинах пр. Склюихи ниже водохранилища в зоне возможного затопления в настоящее время из семи сел осталось два — с. Калиновка, с. Новосклюиха.

Протока Склюиха представляет собой цепочку не связанных между собой в межень пойменных озер (стариц), заросших по урезам камышом. Берега средней крутизны, высотой до 3 м, заросшие кустарником и задернованные. Глубина воды в старицах достигает от 3 до 5 м, длина — от 50 до 100 м. Водный режим пр. Склюихи, как и р. Алея, нарушен работой Гилевского водохранилища, расположенного в 230 км выше Рубцовска. До его постройки вода из Алея ежегодно заходила в протоку. В последние годы вода из Алея по Склюихе не проходила.

Собственный сток пр. Склюихи формируется за счет выпавшего снега на водосбор. Начало его совпадает с началом таяния снега на водосборе и приходится на конец марта — начало апреля. Продолжительность составляет от 5 до 7 дней. Летом протока пересыхает, лишь ниже Склюихинского водохранилища сток по протоке наблюдается в течение всего года за счет фильтрации из него. Дождевые паводки не оказывают влияния на сток.

Поверхностный сток пр. Склюихи для наполнения Склюихинского водохранилища не используется, пропускается в автоматическом режиме по обводному каналу в обход водохранилища.

За время эксплуатации не наблюдалось выхода грунтовых вод на низовой откос, промерзания откоса и образования наледей, выноса грунта тела плотины через дренаж, не было очагов размыва откоса дренажа поверхностными водами. Результаты нивелирных измерений показывают, что осадки основания и тела плотины прекратились, гребень — на проектной отметке. На гребне плотины нет видимых понижений и бугров. Водоохранилище имеет санитарную водоохранную зону шириной 500 м от уреза воды при НПУ. В пределах водоохранной зоны устанавливается прибрежная полоса шириной 55 м [5, с. 6].

**Методика оценки инженерной обстановки при гидродинамической аварии.** Исходные данные для расчетов:

- объем водохранилища —  $W$ , м<sup>3</sup>;
- глубина воды перед плотинной (глубина прорана) —  $H$ , м;
- ширина прорана, или участка перелива воды через гребень плотины, —  $B_3$ , м;
- средняя скорость движения волны прорыва (попуска) —  $V$ , м/с;
- расстояние от плотины (водоема) до объекта —  $R$ , км.

При этом определяются параметры волны прорыва (попуска) на заданное расстояние  $R$  от плотины при ее разрушении.

Последовательность расчетов:

1. Находится время подхода волны прорыва (попуска) на заданное расстояние  $R$  (до объекта):

$$t_{\text{пр}} = R / (3600V), \text{ ч.} \quad (1)$$

Значения  $V$ , равные от 2,5 до 5 м/с, принимаются для зон чрезвычайно опасного и опасного затоплений; для участков возможного затопления  $V$  равна от 1,5 до 2,4 м/с.

2. Определяется высота волны прорыва  $h$  на расстоянии  $R$  до объекта:

$$h = mH, \text{ м,} \quad (2)$$

где  $m$  — коэффициент, зависящий от расстояния ГТС до объекта.

3. Время опорожнения водохранилища (водоема) находится по формуле:

$$T = W / (3600NB_3), \text{ ч,} \quad (3)$$

где  $N$  — максимальный расход воды на 1 м ширины прорана, м<sup>3</sup>/с на 1 м.

Рассчитывается продолжительность (время) прохождения волны прорыва (попуска)  $t$  на заданном до объекта расстоянии  $R$ :

$$t = m_1 T, \text{ ч,} \quad (4)$$

где  $m_1$  — коэффициент, зависящий от расстояния до плотины (водоема) [2].

*Возможные сценарии аварий на Склюихинском водохранилище:*

1. В результате обильных ливневых дождей уровень воды в водохранилище резко поднялся. После переполнения водохранилища произошел прорыв плотины.

2. В результате землетрясения (6 баллов) произошло образование прорана в теле плотины, в результате чего пришел в движение поток воды.

3. Самопроизвольное разрушение плотины.

Объекты экономики: кирпичные и деревянные дома в селах Калиновке и Новосклюихе, в Рубцовске расположены многоэтажные кирпичные дома. Во всех населенных пунктах проходят дороги с асфальтным и гравийным покрытиями.

Результаты вычислений волны прорыва при ширине прорана 10 м

Параметр	г. Рубцовск	с. Калиновка	с. Новосклюиха
Объем водохранилища $W$ , м <sup>3</sup>	38600000	38600000	38600000
Средняя скорость движения волны прорыва $V$ , м/с	1,5	1,5	1,5
Расстояние от плотины до объекта $R$ , км	12	9	17
Высота волны прорыва на расстоянии до объекта $h$ , м	2,5	2,5	2,0
Коэффициент, зависящий от расстояния ГТС до объекта, $m$	0,25	0,25	0,20
Максимальный расход воды на 1 м ширины прорана $N$ , м <sup>3</sup> /с на 1 м	30	30	30
Продолжительность прохождения волны прорыва на заданном до объекта расстоянии $t$ , ч	35	35	60
Коэффициент, зависящий от расстояния до плотины, $m_1$	1	1	1,7

### Выводы

1. При реализации сценариев 1 и 2 здания получат разрушения слабой степени, дороги — средней.

2. Сценарий 3 невозможен, так как реконструкция дамбы закончилась в 2011 г. Финансирование капремонта велось за счет федеральных, краевых и муниципальных средств в рамках реализации федеральной целевой программы «Безопасность водохозяйственных систем и гидротехнических сооружений».

3. К основным последствиям возможного затопления в населенных пунктах ниже водохранилища (с. Новосклюиха, с. Калиновка, г. Рубцовск) относятся: иммобилизация сооружений, имеющих экономическое значение (систем водоснабжения, транспортные системы и т.д.), затопление или разрушение продовольственных складов, гибель посевов, садов, скота, разрушение зданий, в результате чего население остается без жилья, загрязнение водных ресурсов органическими остатками, которые могут вызвать рост бактерий и вирусов, общее ухудшение состояния здоровья пострадавших при затоплении. Таким образом, возникает необходимость защиты населения не только от непосредственного воздействия волны прорыва,

но и от последствий ее воздействия на окружающую среду.

Минимизация последствий аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях во многом основывается на возможности оперативного принятия адекватных решений в условиях скоротечного изменения окружающей обстановки. Аварии на объектах водопользования могут иметь особенно негативные последствия, так как связаны с возможным нарушением защитных барьеров и распространением большого объема вод с возможным последующим загрязнением территорий. Однако на сегодняшний день специалистам и руководителям служб и подразделений, участвующим в ликвидации последствий аварийных ситуаций, как правило, на начальном этапе приходится работать в условиях недостатка информации и исходных данных об объекте. В этой связи прогнозирование гидрологических чрезвычайных ситуаций по имитационным параметрам необходимо для оперативного информирования, управления и координации действий руководителей и специалистов служб и подразделений.

### Библиографический список

1. Кушнирова О.Н. Расчет гидродинамических процессов при разрушении водоподпорных грунтовых сооружений и ледовых образований : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск, 2012.

2. Оценка инженерной обстановки в условиях чрезвычайной ситуации : методическая разработка для студентов дневной формы обучения / сост.: В.А. Горишний, В.В. Волков, В.Б. Чернецов, Л.Н. Борисенко [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.nntu.ru>.

3. Правила эксплуатации комплекса сооружений гидроузла на р. Алей для хозяйственного и промышленного водоснабжения г. Рубцовска Алтайского края. — Барнаул, 2002.

4. Водохозяйственный паспорт Склюихинского водохранилища на протоке Склюиха (р. Алей) в Рубцовском районе Алтайского края. — Барнаул, 2001.

5. Правила эксплуатации Склюихинского водохранилища на протоке Склюиха (р. Алей) в Рубцовском районе Алтайского края. — Барнаул, 2002. — Кн. 3.