

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ
ВОЛЖСКОГО КАСКАДА ГИДРОСООРУЖЕНИЙ**

© 2015

Ивентиев Владимир Степанович¹

Заведующий Проблемной Академической лабораторией

Института Экологии Волжского Бассейна РАН г. Тольятти, Россия

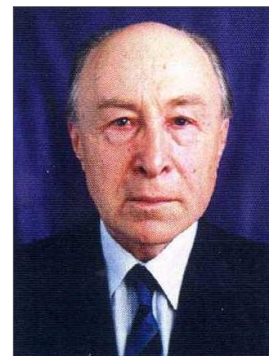
Доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой «Теплотехника и гидравлика»

Л. Н. Козина, научный сотрудник

Института Экологии Волжского Бассейна РАН, г. Тольятти, Россия.

старший преподаватель кафедры «Энергетические машины и системы управления»

Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Аннотация. Разработана общая концепция и методология построения математической модели Волжского каскада гидросооружений, проведены расчеты затопления берегов Куйбышевского водохранилища на случай разрушения плотин Чебоксарской и Нижнекамской ГЭС, построена диаграмма затопления берегов Куйбышевского водохранилища на указанный случай, по которой (имея топографические карты с изолиниями высот) можно определить конкретные местности затопления. Разработанная методика прогностических расчетов затопления территорий волжских берегов от Чебоксарской и Нижнекамской ГЭС до г. Сызрани (на расстоянии порядка 800 км) при чрезмерных сбросах воды сквозь плотины в периоды паводков, а также в экстремальных ситуациях при частичном или полном разрушении плотин дает возможность с достаточной точностью определить территории затопления, время затопления, время стояния воды на отметке затопления и время спада затопления, т. е. определяющие факторы, имеющие важное значение в народно-хозяйственном, военном и социальном плане.

К настоящему времени проблемная лаборатория РАН «Математическое моделирование экстремальных экологических ситуаций» располагает методикой расчетов, картой затопления региона Самарской Луки в периоды паводков и при частичном, и полном разрушении плотины Волжской ГЭС с конкретными данными по затопляемым территориям и жизненно важным объектам от г. Тольятти до г. Сызрани, а также электронными рабочими программами и диаграммой, отражающей пики затоплений берегов Куйбышевского водохранилища на случай разрушения верхнележащих плотин и водохранилищ Чебоксарской и Нижнекамской ГЭС. Разработанная математическая модель гидродинамики Волжского каскада гидросооружений и методология прогностических расчетов затопления территорий для указанных случаев применима к любой равнинной реке, имеющей плотины и водохранилища.

Ключевые слова: водохранилища, Волжская ГЭС, глобальное землетрясение, затопление территорий, сейсмическая активность, стихийное бедствие, Самарская Лука,

¹ К 90-летию со дня рождения академика РАЕН, заслуженного деятеля науки и техники РФ, д. т. н., профессора Почетного работника высшего профессионального образования РФ, Почетного гражданина города. В работе был занят большой научный коллектив: **Ивентиев В. С.** – научный руководитель; **научные сотрудники лаборатории МЭЭС ИЗВБ РАН:** д. т. н., профессор В. А. Эткин, к. т. н., доцент А. В. Калинин, д. т. н., профессор В. Н. Воронин, к. т. н., доцент Ю. М. Янюшкин, д. т. н., профессор В. А. Селезнев, к. т. н., доцент Г. С. Козлов, к. т. н., доцент Ю. Ф. Украинский, ст. преподаватель Л. Н. Козина, инженер Е. А. Капалкина, инженер А. Н. Давыдчев, ст. преподаватель С. Г. Никишева, ассистент Т. А. Бабушкина, аспирант Л. Ю. Тимошенко, ст. преподаватель Г. И. Ирзыева, лаборант Р. Г. Гороховская.

Исследованиями ученых института геологии Саратовского госуниверситета была установлена Поволжская зона повышенной сейсмической активности. Подтверждением этого являются недавние землетрясения в городах Волжском (Волгоградская область) и Набережные Челны. Указанная зона простирается с юго-запада на северо-восток. Ее протяженность составляет 800–1000 км и ширина 100–150 км. В эту зону попадают города Волгоград, Камышин, Саратов, Вольск, Балаково, Хвалынский, Сызрань, Самара, Тольятти, Ульяновск и далее она уходит в пределы Башкортостана и Татарстана.

Предполагается, что землетрясение силой 7–8 баллов с эпицентром вблизи плотин Волжского каскада ГЭС или непосредственно под ними может привести к частичному или полному разрушению одной или нескольких плотин, что чревато затоплением больших территорий волжских берегов, где расположены важные промышленные и военные объекты, Балаковская АЭС, сконцентрирована большая масса населения, железнодорожные и автомобильные магистрали, ЛЭП, дачные участки, зоны отдыха и др. В связи с этим возникает необходимость прогнозирования такой экстремальной ситуации с целью предусмотрения мероприятий по ее локализации и ликвидации последствий. Это может быть выполнено на основе математического моделирования гидродинамики Волжского каскада гидросооружений.

В связи с этим Президиумом Российской Академии наук на базе Института экологии Волжского бассейна и Тольяттинского государственного университета (ТПИ) была организована Проблемная научно-исследовательская лаборатория «Моделирование экстремальных экологических ситуаций» (Распоряжение Президиума РАН № 10201-352 от 21 мая 1991 г.). Основным направлением научной деятельности лаборатории было определено «Математическое моделирование гидродинамики Волжского каскада гидросооружений с целью обеспечения прогноза и определения затопления территорий в случае разрушения одной или нескольких плотин» в результате стихийного бедствия, военных действий, террористических актов.

Следует отметить, что создание такой математической модели поможет решить не только основную, поставленную Академией наук задачу, но и задачи регионального значения, к которым следует отнести чрезмерные паводковые сбросы воды через плотины Волжских ГЭС, приводящие к большим затоплениям берегов, наносящих ощутимый ущерб народному хозяйству, а также растительному и животному миру. Кроме того, чрезмерные водосбросы во время переполнения водохранилищ вызывают местные землетрясения (вибрации грунта) в радиусе 3–4 км от плотин, что оказывает отрицательное психологическое

воздействие на людей, представляет угрозу для фундаментов самих плотин, а также фундаментов жилых зданий и других сооружений, расположенных вблизи плотин, а при определенных обстоятельствах это может спровоцировать и глобальное землетрясение.

В данной работе представлены первые наработки упомянутой выше лаборатории по математическому моделированию гидродинамики Волжского каскада ГЭС. Приводятся расчетные данные по предполагаемым территориям затопления берегов Куйбышевского водохранилища на случай разрушения верхнележащих плотин Нижнекамской и Чебоксарской ГЭС, а также данные по затоплению региона Самарской Луки при частичном и полном разрушении земляной (насыпной) части плотины Волжской ГЭС.

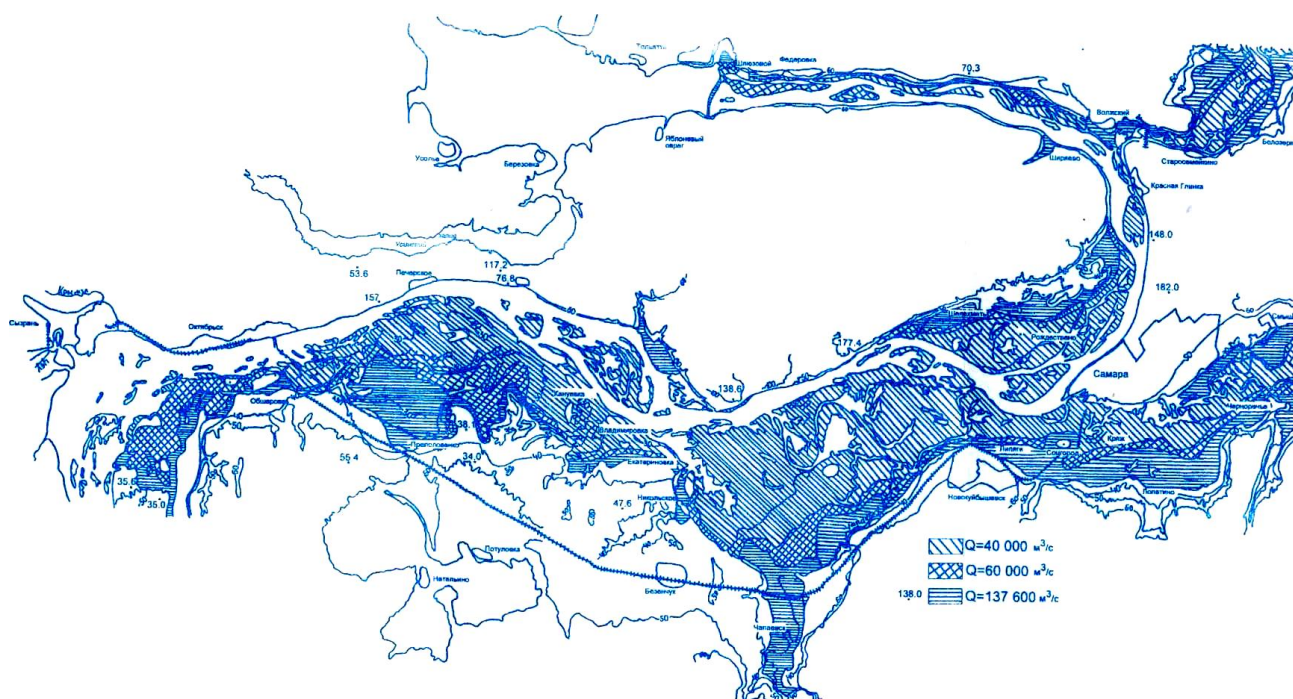
Общая концепция построения модели гидродинамики Волжского каскада ГЭС была разработана В. С. Ивлентиевым в его работах применительно к газодинамическим процессам, имеющим место в герметических кабинах летательных аппаратов, системах кондиционирования воздуха и вентиляции промышленных объектов, убежищ, подводных судов и других объектов. Отмечено, что полученные результаты с помощью методов аналогии в соответствии с теорией подобия могут быть перенесены на процессы и явления иной физической природы [1–3]. В частности, на распределение водных ресурсов в системах сообщающихся бассейнов (водохранилищ) путем построения (на основе общей концепции) специальной гидродинамической модели, включающей в себя вместо термодинамических, газодинамических функций и уравнений уравнения, функции и формулы гидравлики и гидродинамики: формулы расходов, сопротивлений, уравнения неразрывности, количества движения, Навье–Стокса, Рейнольдса, Вантцеля, Буссинеска и др.

Разработана общая концепция и методология построения математической модели Волжского каскада гидросооружений, проведены расчеты затопления берегов Куйбышевского водохранилища на случай разрушения плотин Чебоксарской и Нижнекамской ГЭС, построена диаграмма затопления берегов Куйбышевского водохранилища на указанный случай, по которой (имея топографические карты с изолиниями высот) можно определить конкретные местности затопления.

Проведен расчет затопления территорий Самарской Луки на случай двойного паводка по сравнению с 1979 г., когда сброс воды через плотину Волжской ГЭС достигал 20–22 тыс. м³/с. Расчетный сброс воды был принят равным 40 тыс. м³/с. Отметим, что самый большой паводок за истекшее столетие наблюдался в 1926 г., когда расход воды в створе Жигулевских ворот был равен 46 тыс. м³/с. Также проведены расчеты на случай частичного и полного разрушения насыпной

Исходя из гидрологических особенностей Куйбышевского водохранилища, с целью большей детализации, оно было разбито на 13 расчетных участков. Координаты кривых объемов и площадей для всего водохранилища рассчитаны по данным Тольяттинской ГМО, института «Гидропроект» и данным работы [3, 4]. Результаты расчетов представлены таблицами,

Разработанная методика прогностических расчетов затопления территорий волжских берегов при чрезмерных сбросах воды в период паводков, а также в экстремальных ситуациях при частичном или полном прорыве плотин волжских ГЭС (землетрясение, военные действия, террористические акты и т. п.) дает возможность с достаточной точностью определить территории затопления, продолжительность и глубину стояния воды на отметках затопления, время спада затопления, т. е. определяющие факторы, имеющие главное значение.



Анализ результатов расчетов затопления береговых территорий на участке р. Волги протяженностью порядка 500–600 км (соответственно, от Чебоксарской и Нижнекамской ГЭС до Куйбышевской ГЭС) показал, что в случае прорыва верхнележащих плотин Чебоксарской и Нижнекамской ГЭС уровень воды в Куйбышевском водохранилище может достигнуть отметки 58 мБС. При этом будут затоплены обширные земельные территории с расположенными на них различными объектами (сельскохозяйственные угодья, населенные пункты, зоны отдыха, промышленно-хозяйственные и военные объекты, железнодорожные и автомобильные магистрали, линии электропередач, связь). Из представленных результатов расчетов явствует, что при поднятии уровня воды в Куйбышевском водохранилище до отметки 58 мБС площадь затопления достигнет 30 % от существующей на сегодня

На представленной карте зон затопления региона Самарской Луки (см. схему) для случая частичного и полного разрушения плотины Волжской ГЭС по участкам г. Тольятти – с. Федоровка; с. Федоровка – г. Самара; г. Самара – г. Чапаевск; г. Чапаевск – ст. Октябрьск; ст. Октябрьск – г. Сызрань обозначен контур р. Волги на отметке 28 мБС, изолинии отметок высот прилегающей местности и населенные пункты, расположенные в прибрежной зоне. Условные обозначения зон затопления приведены в пояснениях к карте для расходов воды $Q = 40\,000\text{ м}^3/\text{с}$; $Q = 60\,000\text{ м}^3/\text{с}$ –

при частичном разрушении плотины и $Q = 137\,600 \text{ м}^3/\text{с}$ – при полном разрушении плотины Волжской ГЭС.

Анализ карты показывает, что правый склон р. Волги крутой и обрывистый, высотой от 100 до 150 м над уровнем меженных вод. Поэтому резкое повышение отметок урезов воды в случае разрушения плотины не приведет к обширному затоплению этих территорий. Такие населенные пункты, как г. Сызрань, ст. Октябрьск, села Печорское, Переволоки и Брусяны в зону затопления не попадают. Затопленными будут участки долины между створами Подгоры – Шелехметь, где находятся многочисленные озера, старицы, протоки. Здесь расположены села Шелехметь, Новинки и Рождествено, базы отдыха, а также участок автомагистрали, соединяющей с.Шелехметь с переправой в г. Самара. В зону затопления попадает небольшой участок шириной до 2 км и длиной до 10 км, расположенный ниже с. Брусяны, а также будет подтоплен самый большой из оврагов Самарской Луки – Ширяевский буерак, образующий долину шириной 2 км, где расположено с. Ширяево.

Левобережный склон р. Волги будет подвержен более обширному затоплению, за исключением территории между устьями рек Сок и Самара, где возвышаются Соколы горы.

Ввиду того, что влияние подпора Саратовского водохранилища прослеживается в волжских притоках на десятки километров от их устья, резкое повышение уровня свободной поверхности воды в случае полного разрушения плотины Волжской ГЭС повлечет за собой сильное подтопление поймы притоков: реки Самара, Сок, Чагра, Чапаевка, Безенчук, Малый Иргиз и Сызранка.

Затоплению будет подвержен участок от нижнего бьефа Волжской ГЭС до пос. Волжский. В эту зону входят: часть пос. Шлюзовой, п-ов Копылово, часть пос. Федоровка, а также базы отдыха и садово-дачные участки.

Зона затопления шириной до 9,5 км образуется в пойме р. Сок. Частичному подтоплению подвергнутся пос. Волжский, Красный Яр, Старосемейкино, Белозерка. В эту зону попадает железная дорога на участке Малая Царевщина – Старосемейкино, железнодорожный мост через р. Сок, а также небольшие населенные пункты и базы отдыха, расположенные в долине р. Кондурча.

Опасной с точки зрения затопления является пойма р. Самара при ширине затопления до 13 км. В эту зону попадают часть территории г. Самара, пос.Белозерки, Смышляевка, Кряж, Черноречье, Черновский, Бобровка, г. Кинель, долина р. Кинель, городская свалка вблизи пос. Смышляевка, железная дорога на участке Советы – Рамушки, железнодорож-

ный и автомобильный мосты через реки Большой Кинель и Самара, а также ЛЭП на участке 10 км в районе с. Алексеевка и вблизи с.Красный Яр на участке 8 км.

Таким образом, г. Самара с южной и восточной стороны окажется окруженной затопленными территориями, будет нарушено электроснабжение, транспортное сообщение. Будет затоплен участок автомагистрали Самара – Тольятти, Самара – аэропорт Курумоч.

Самая обширная зона затопления образуется в долине р. Волга на участке Подстепновка – Екатериновка, где много озер, стариц, проток. Максимальная ширина зоны затопления достигает 14 км в районе г. Чапаевск. Ширина зоны подтопления на участке Екатериновка – Обшаровка составляет 5 км в створе с. Переволоки. В эти зоны попадают села Подстепновка, Никольское, Екатериновка, Владимировка, Кануевка, совхоз им. Масленникова, часть городов Новокуйбышевска и Чапаевска, участок железной дороги протяженностью 6–7 км, ведущей к мосту через р.Волгу.

Ниже с. Обшаровка ширина зоны затопления достигает 5–6 км. Подтоплены будут села Обшаровка, Нижнепечерское, Преполовенко, а также железная дорога на участке 7 км, железнодорожный мост вблизи с. Обшаровка и ЛЭП вдоль железнодорожной ветки (7 км). Кроме того, при полном разрушении плотины Волжской ГЭС будут затоплены все острова в пойме р. Волга, где расположены садово-дачные участки, базы отдыха, дома охотника и рыболовецкие совхозы.

Анализ результатов расчетов, карты затопления территорий Самарской Луки при внезапном частичном и полном разрушении плотины Волжской ГЭС показывают, что площади затопления при полном разрушении плотины при расходе $Q = 137\,600 \text{ м}^3/\text{с}$ значительно превышают площадь затопления при частичном разрушении плотины Волжской ГЭС с расходами воды $Q = 40\,000 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q = 60\,000 \text{ м}^3/\text{с}$.

Выводы:

1. Учитывая экономическое положение страны, на наш взгляд, самым приемлемым способом борьбы с затоплениями является четкая координация действий гидрологических и гидротехнических служб Волжского каскада гидросооружений в зависимости от складывающейся ситуации с учетом того, что р. Волга протекает в различных географических поясах и пики паводков (а возможно, и разрушение плотин) наступают не одновременно.

2. В перспективе необходимо возвратиться к ранее существовавшей идее строительства обводных каналов от водохранилищ Волгоградской, Саратовской и Куйбышевской ГЭС к заплотинному руслу с таким расчетом, чтобы эти каналы обеспечивали автоматический сброс излишек воды в водохранилищах

в заплотинное пространство. Это даст возможность решить следующие задачи:

- поддерживать запасы воды в водохранилищах на заданном уровне;
- исключить чрезмерные сбросы воды сквозь плотины, а следовательно, и местные землетрясения (вибрации грунта) и продлит срок службы плотин;
- проникать ценным породам каспийских рыб (осетр, сельдь) во время весеннего икромета в свои традиционные места нереста.

3. Для полного решения поставленной задачи по затоплению и подтоплению волжских берегов на случай разрушения плотин Волжского каскада гидросооружений или при чрезмерных сбросах воды в периоды паводков необходимо провести расчеты по разработанной математической модели для всех плотин и водохранилищ каскада, с последующим составлением

атласа карт затопляемых территорий. Естественно, что это потребует значительного времени, материальных и финансовых затрат, поскольку работа связана не только с расчетами, но и с научными экспедициями на места волжских водохранилищ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивлентьев В. С. Разгерметизация кабин летательных аппаратов : Дис. ... д-ра техн. наук. М., 1982.
2. Ивлентьев В. С. Декомпрессия кабин воздушных судов. М. : Изд-во МАИ, 1990.
3. Ивлентьев В. С. Определение параметров газа в сложных системах сообщающихся объемов при наличии притока, перетока и оттока газа. Тольятти : ТолПИ, 1991.
4. Горелов М. С. и др. Природа Куйбышевской области. Куйбышев : Кн. изд- во, 1990.

MATHEMATICAL MODELING OF THE VOLGA CASCADE OF HYDRAULIC WORKS

© 2015

V. S. Ivlenyev, head of the Research Laboratory of the Academic Institute of Ecology of Volga Basin Tolyatti, Russia
Prof. Head of department «Heat and Hydraulics»
Togliatti State University, Togliatti (Russia)
L. N. Kozina, assistant professor of the chair
«Energy machines and control systems», research associate
Institute of Ecology of Volga Basin, Togliatti (Russia)

Annotation. A general concept and methodology of constructing a mathematical model of the Volga cascade of hydro, the calculations of coastal flooding Kuibyshev reservoir in case of dam failures Cheboksary and Nizhnekamsk HPP, the diagram of coastal flooding Kuibyshev reservoir to said case, on which (with topographic maps with contour heights) can identify specific areas of flooding. The developed method for prognostic calculations-heating areas of the banks of the Volga Cheboksary and Nizhnekamsk HPP to Syzran (at a distance of about 800 km) with excessive release of water through the dam during flood periods, and in extreme cases of partial or total destruction of the dam makes it possible to sufficient accuracy to determine the area of flooding, while flooding, while standing water at the level of flooding and flooding of the recession, that is, determining factor tori that are important to national economic, military, and socially insured cial plan.

To date, the Fundamental Research Laboratory Sciences «Mathematical modeling of extreme environmental situations», a method of calculation, the map of flooding in the region of Samara Luka during flood periods and with partial and complete destruction of platinum Volga hydroelectric power station with specific data on flood plains and vital objects from Togliatti to Syzran, as well as e-work programs and dia-grams, reflecting the peaks of coastal flooding reservoirs Kuibyshev-conductive in the event of failure of dams and reservoirs verhnelezhaskih Cheboksary and Nizhnekamsk HPP. Developed a mathematical model of the hydrodynamics of the Volga cascade of hydro and methodology of forecasting calculations of flooding for these cases applies to any flat river has a dam and reservoir.

Keywords: seismic activity, flooding areas, natural disaster, global earthquake, reservoir, Samara Bend, Volga hydroelectric power station.