

УДК 004.942

***МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНЫ ПРОРЫВА ПРИ  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ***

***Тырасов А.А.***

*студент 3 курса*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный университет- МСХА имени К.А.*

*Тимирязева»*

*Москва, Россия*

***Кондратьева О.В.***

*научный руководитель, к.т.н., доцент, доцент кафедры систем*

*автоматизированного проектирования и инженерных расчетов*

*ФГОУ ВО «Российский государственный университет- МСХА имени К.А.*

*Тимирязева»*

*Москва, Россия*

**Аннотация.** Гидродинамические аварии являются одним из наиболее серьезных и опасных событий в промышленности и на транспорте, так как они могут привести к разрушению инфраструктуры, гибели людей и нанесению значительного ущерба окружающей среде. Поэтому разработка методов прогнозирования и анализа подобных аварийных ситуаций становится крайне важной задачей.

В настоящее время, основываясь на новейших математических методах, проводятся исследования по разработке моделей, которые могут точно описывать поведение волны прорыва при гидродинамической аварии. Такие модели строятся на основе уравнений гидродинамики и включают в себя решение комплексных дифференциальных уравнений, описывающих физические процессы, происходящие в аварийной ситуации.

**Ключевые слова:** модель, математическая модель, волна, Волна прорыва, гидродинамическая авария

***MATHEMATICAL MODELING OF A BREAKTHROUGH WAVE IN A  
HYDRODYNAMIC ACCIDENT***

***Tyrasov A.A.***

*3rd year student*

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev"*

*Moscow, Russia*

***Kondratyeva O.V.***

*scientific supervisor, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of computer-aided design systems and engineering calculations*

*Federal State Educational Institution of Higher Education "Russian State University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev"*

*Moscow, Russia*

**Abstract:** Hydrodynamic accidents are one of the most serious and dangerous events in industry and transport, as they can lead to the destruction of infrastructure, loss of life and significant damage to the environment. Therefore, the development of methods for predicting and analyzing such emergencies becomes an extremely important task.

At present, based on the latest mathematical methods, research is underway to develop models that can accurately describe the behavior of a breakthrough wave in a hydrodynamic accident. Such models are built on the basis of hydrodynamic equations and include the solution of complex differential equations describing the physical processes that occur in an emergency situation.

**Key words:** model, mathematical model, wave, breakout wave, hydrodynamic accident.

Волны прорыва при гидродинамической аварии - это явление, которое изучают и предсказывают с помощью математических моделей. Эти модели позволяют предсказать характеристики волны прорыва, такие как ее скорость, форма и энергетические параметры.

Одна из самых популярных математических моделей для описания волн прорыва при гидродинамической аварии - это модель Саймона-Хаека. Она основывается на принципах сохранения массы, импульса и энергии, и позволяет рассчитать поведение волны в зависимости от исходных условий [3,7].

При гидродинамической аварии, такой как разрушение плотины или прорыв дамбы, происходит высвобождение большого количества воды, что приводит к образованию волны прорыва. Эта волна обладает большой энергией и способна нанести значительный ущерб окружающей среде и инфраструктуре.

Математическая модель Саймона-Хаека позволяет рассчитать основные характеристики волны прорыва. Она учитывает гравитационные и инерционные эффекты, а также трение и вязкость среды. Это позволяет прогнозировать скорость распространения волны, ее форму и величину ударной нагрузки на преграды [1,7].

Одной из главных задач математического моделирования волны прорыва является определение времени начала и скорости роста аварийного процесса. Это позволяет принять оперативные меры по эвакуации людей, предотвращению ущерба имуществу и локализации последствий аварии. Благодаря точным исследованиям с применением математических моделей, инженерам и специалистам удастся прогнозировать различные сценарии развития аварий и разрабатывать меры для предотвращения их возникновения [2].

При обнаружении признаков распространения негативной ситуации в виде гидродинамической аварии, для нее составляется математическое описание влияния негативных факторов [4].

Волна прорыва может сказываться на гидротехническом сооружении в трех состояниях:

- Состояние «0»: воздействие волны прорыва не проявляется;
- Состояние «1»: воздействие волны прорыва начинает изменять гидротехническое сооружение.
- Состояние «2»: воздействие волны прорыва повлекло начало распространения чрезвычайной ситуации.
- Состояние «3»: воздействие волны прорыва привело к аварийному состоянию гидротехническое сооружение [6].

Тогда с учетом состояний:  $P_0(0) = 1; P_1(0) = P_2(0) = 0$ . Математическое описание задачи выявления угроз безопасности гидротехнического сооружения будет выглядеть следующим образом:

Распределение средств ликвидации аварий в системе:

$$P_0(1) = 1 - q_{\Sigma}; P_1(1) = q_1; P_2(1) = q_2; P_3(1) = 0,$$

Распределение средств ликвидации волны в системе  $P_0(2)$ :

$$P_0(2) = (1 - q_{\Sigma})^2 + q_1 R_1 + q_2 R_2; P_1(2) = (1 - q_{\Sigma}) q_1;$$

Распределение средств ликвидации волны прорыва в системе

$$P_2(2) = (1 - q_{\Sigma}) q_2; P_3(1) = q_1 \overline{R_{13}} + q_2 \overline{R_{23}}$$

Исходя из имеющихся ограничений, мы получаем задачу по оптимальному распределению ресурсов для ликвидации волны прорыва на гидротехническом сооружении:

$$||P(a)|| = \begin{vmatrix} q_{00} & q_1 & \dots & q_i & \dots & q_n & 0 \\ I_1 & q_{11} & \dots & 0 & \dots & 0 & \bar{I}_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_n & 0 & \dots & 0 & \dots & q_{nn} & \bar{I}_n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Отсюда решением системы будет следующий алгоритм:

$$P_{vw} = \hbar \operatorname{arg} \langle \psi_v, \psi_w \rangle_{\mathbb{C}},$$

$$\xi_v = \frac{1}{V_v} \sum_{vw \in \mathcal{E}} \frac{A_{vw}}{l_{vw}} \eta_{vw},$$

При моделировании волны прорыва необходимо учитывать множество факторов, таких как конфигурация среды, параметры среды, в которой происходит авария, интенсивность воздействия на структуры и другие факторы, влияющие на динамику развития аварийной ситуации. На основе имеющихся данных проводятся численные эксперименты и анализ результатов, с целью выявления закономерностей и разработки рекомендаций по предотвращению и ограничению разрушительного воздействия волны прорыва.

Математическое моделирование волны прорыва при гидродинамической аварии играет ключевую роль в повышении безопасности и эффективности процессов, связанных с аварийными ситуациями. Оно позволяет предварительно прогнозировать развитие аварии, учитывая различные факторы, что помогает предотвратить чрезвычайные ситуации и реагировать на них с наивысшей точностью и эффективностью. Таким образом, использование математических моделей в гидродинамической аварийной ситуации является необходимым инструментом для повышения безопасности и оптимизации работы промышленных и транспортных систем.

Применение математических моделей для изучения волн прорыва при гидродинамической аварии имеет большое практическое значение. Оно позволяет

оценить потенциальные риски, связанные с подобными событиями, и разработать соответствующие меры предосторожности. Кроме того, эти модели помогают понять физические процессы, происходящие при волнах прорыва, и улучшить методики их прогнозирования и предотвращения.

Таким образом, математическая модель волны прорыва при гидродинамической аварии - это мощный инструмент для изучения и предсказания данного феномена. Она позволяет улучшить безопасность и эффективность строительства и эксплуатации водных сооружений, а также способствует развитию научных исследований в этой области.

### **Библиографический список**

1. Васильева, Е. С. Совершенствование методов расчета техногенных паводков при развитии прорывов в грунтовых плотинах : специальность 25.00.27 "Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Васильева Екатерина Сергеевна, 2021. – 147 с.
2. Верременюк, В. В. Моделирование неустановившегося движения в нижнем бьефе гидроузла при разрушении грунтовой плотины / В. В. Верременюк, В. В. Ивашечкин, О. В. Немеровец // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 554-567.
3. Куликович, А. В. Актуальные вопросы оценки процесса разрушения плотин из местных материалов / А. В. Куликович, Н. Н. Бабин, М. А. Зюриков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2023. – № 1. – С. 37-45.
4. Немеровец, О. В. Математическое моделирование затопления территории нижнего бьефа гидроузла в результате прохождения волны прорыва / О. В. Немеровец, В. В. Ивашечкин, В. В. Верременюк // Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей : Сборник научных трудов Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 02–05 июня 2021 года / Под редакцией Г.Л. Гладкова, К.П. Моргунова. Том Выпуск 5. Часть 2. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 2021. – С. 39-46.

5. Прогнозирование чрезвычайной ситуации на гидротехнических сооружениях / Е. В. Муравьева, Е. В. Арефьева, Д. О. Копытов, А. И. Шакирова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2021. – Т. 23, № 5(103). – С. 82-89.

6. Козлов, Д. В. Прогноз уровня безопасности бесхозяйных низконапорных грунтовых плотин / Д. В. Козлов, В. Л. Снежко // Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы - 2019 : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 25 ноября 2019 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2019. – С. 270-274. – EDN ETXQOT.

7. Палиивец, М. С. Основы математического моделирования в водопользовании / М. С. Палиивец. – Москва : Научные технологии, 2020. – 88 с. – ISBN 978-5-4443-0215-6. – EDN NCDNAX.

*Оригинальность 84%*