



УДК 627.09:627

## ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ГАСИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАМЕРЕ СУДОХОДНОГО ШЛЮЗА

**Липатов Игорь Викторович**, д.т.н., профессор кафедры водных путей и гидротехнических сооружений  
ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта».  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

**Бандин Денис Алексеевич**, аспирант, ассистент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений  
ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта».  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

*Аннотация. Гасительные устройства и гидродинамические процессы влияют на скорость наполнения камеры шлюза и безопасные условия отстоя судна. Натурные измерения параметров этих процессов сложны, поэтому более предпочтительным является численное моделирование на базе уравнений Навье-Стокса. В статье представлены результаты моделирования типового шлюза Волго-Донского судоходного канала. Анализируются соотношения между факторами и гидродинамическими силами, влияющими на судно. Эти данные могут быть использованы для модернизации гасительных элементов и оптимизации процесса наполнения камеры шлюза.*

*Ключевые слова: шлюз, уклоны свободной поверхности воды в камере шлюза, численное моделирование, закон сохранения импульса, эффективность работы гасительных элементов.*

О важности работы гидродинамических устройств и процессов в потоке воды для безопасности и эффективности работы судоходного шлюза интересуют ученых в данной области достаточно давно. Но затруднительно проводить полноценные измерения данных параметров на базе лабораторных опытов, поэтому использование численного моделирования на основе уравнений Навье-Стокса является наиболее информативным и удобным способом.

Для моделирования головной системы наполнения шлюза, был рассмотрен проект Волго-Донского судоходного канала. Анализируя взаимосвязи и определенные факторы, влияющие на гидродинамические силы, действующие на судно в камере шлюза, можно наметить пути модернизации гасительных элементов для оптимизации процесса наполнения камеры шлюза.

Для учета турбулентных процессов используется проверенный и надежный  $k-\varepsilon$  подход, где коэффициент эффективной вязкости определяется как сумма кинематической вязкости и коэффициента турбулентного обмена.

Кинетическая энергия турбулентности и коэффициент диссипации турбулентной энергии вычисляются по двухуровневой модели Лаундера-Джонса. На рисунке 1 показана расчетная область для будущего процесса наполнения камеры шлюза. Для получения интегральных характеристик по уклонам и внешним воздействиям, определяющим энергию движения воды, выделяются две локальные зоны интегрирования. Граница между этими зонами совместима с условной зоной окончания гасительного участка на верхней голове. Локализация области камеры шлюза II и интегрирование полученных данных позволит получить энергетические характеристики, действующие на шлюзующееся судно.

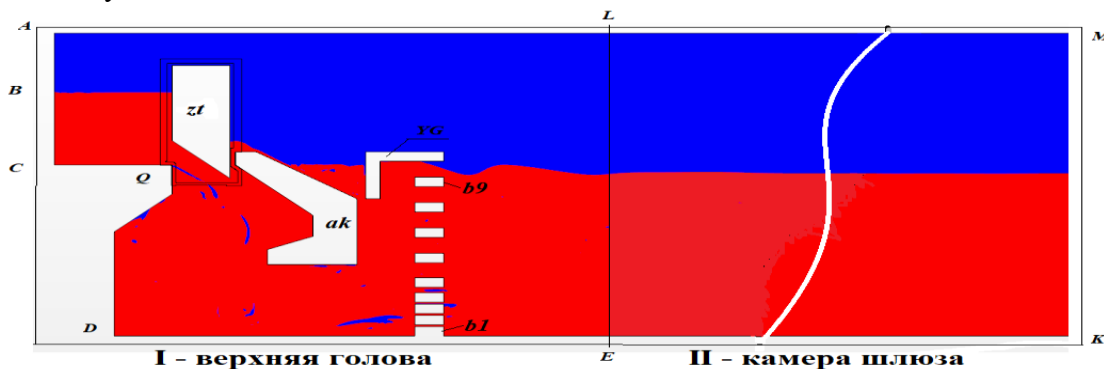


Рис. 1. Области интегрирования при наполнении камеры шлюза.

Главное воздействие на шлюзующееся судно вызвано отклонением свободной поверхности от горизонтального положения и изменением вектора сил внешних реакций от бетона камеры на воду.

Уклон свободной поверхности воды в камере шлюза, обозначенный как  $i$ , является определяющим фактором для отстоя судна в камере.

$$i = \frac{F_{fsX}}{F_{fsY}} \quad (1)$$

Значения компоненты силы  $\vec{F}_{fs}$  могут быть получены для нужной области потока путем задания области интегрирования и граничных условий. Чтобы получить уклон в камере шлюза, область интегрирования делится на две взаимно неперекрывающиеся области.

Проведенное численное моделирование процесса наполнения камеры шлюза без шлюзующегося судна показывает, что первый пик наступает в интервале 50-60 секунд, второй пик - на 110 секунде, третий - на 160 секунде. Далее пики наблюдаются на 190, 220, 250 и 275 секундах соответственно. Уклоны пиков имеют монотонно затухающий характер, а асимметрия графика затухания определяется системой гашения и гасительными элементами, а также интенсивностью наполнения камеры водой. Поток воды попадает в камеру через сечение BC и перемещается по верхнему подходному каналу, обмениваясь импульсом с дном канала и уменьшая энергетический потенциал. Поток также ударяется об металлоконструкцию рабочих ворот, что вызывает резкое увеличение скорости движения потока. После удара о гасительный экран, поток направляется на стенку падения камеры гашения, затем обменивается импульсом силы с дном и нижней частью экрана камеры гашения. Поток также ударяется о балки гашения, что уменьшает его энергию. Интенсивность движения потока между балками гашения и сечением LE стабилизируется на участке гашения в пространстве между ними.

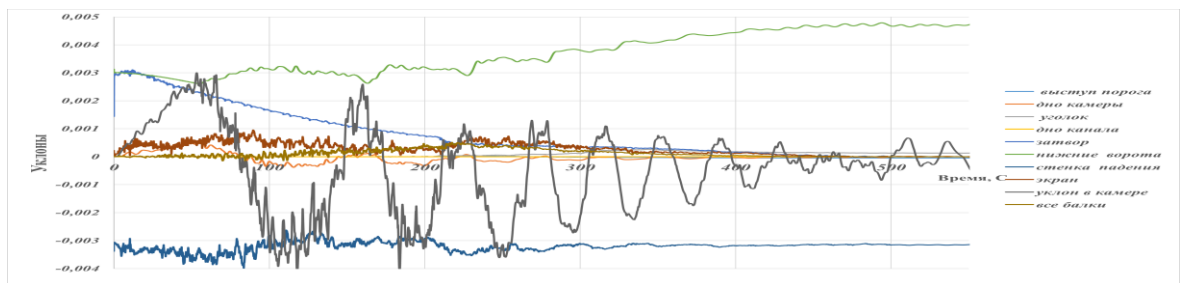


Рис. 2. Уклоны свободной поверхности воды в камере от конструктивных элементов

Поток воды перетекает из области верхней головы в камеру шлюза. В камере происходит волнообразование, которое имеет периодический характер с затухающей амплитудой. Конструкция гасительных элементов влияет на структуру потока, уровни дивергенции скорости и турбулентные процессы. Это помогает уменьшить энергию потока и улучшить уклоны свободной поверхности воды в камере, что облегчает раскачку судна. График изменения уклона свободной поверхности коррелирует с силами, действующими на поток, поэтому конструкция шлюза и гасительных элементов играют важную роль в отстое судна. При этом ошибки воспроизведения турбулентных процессов обычно приводят к уменьшению гидродинамической силы и улучшению ситуации с отстоем. Частные дифференциалы и градиенты скорости и давления влияют на результат в незначительной степени и могут быть исключены из рассмотрения.

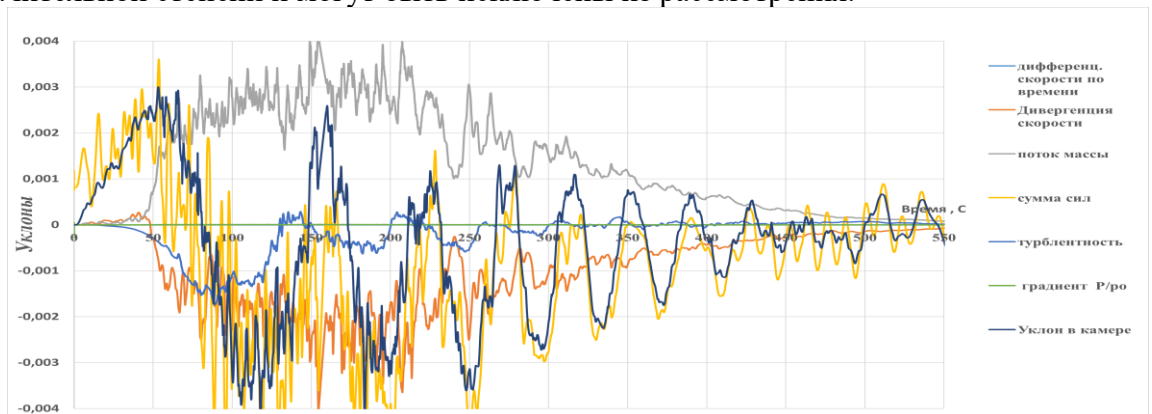


Рис. 3. Уклоны свободной поверхности воды в камере от интегральных величин.

Увеличение частоты турбулентных процессов ведет к ухудшению условий отстоя судна. Кроме того, увеличение массы воды в камере приводит к увеличению колебаний поверхности. Поток массы воды полностью повторяет гидрограф процесса наполнения камеры шлюза. Рост поступления воды совпадает с первым пиком гидродинамической силы. Графики уклонов и дивергенции поля скорости ведут себя параллельно, но с обратными знаками. Пики гидродинамического уклона ограничивают выбор режима наполнения камеры. Влияние турбулентных процессов и массы воды на общую картину незначительно в конечном итоге.

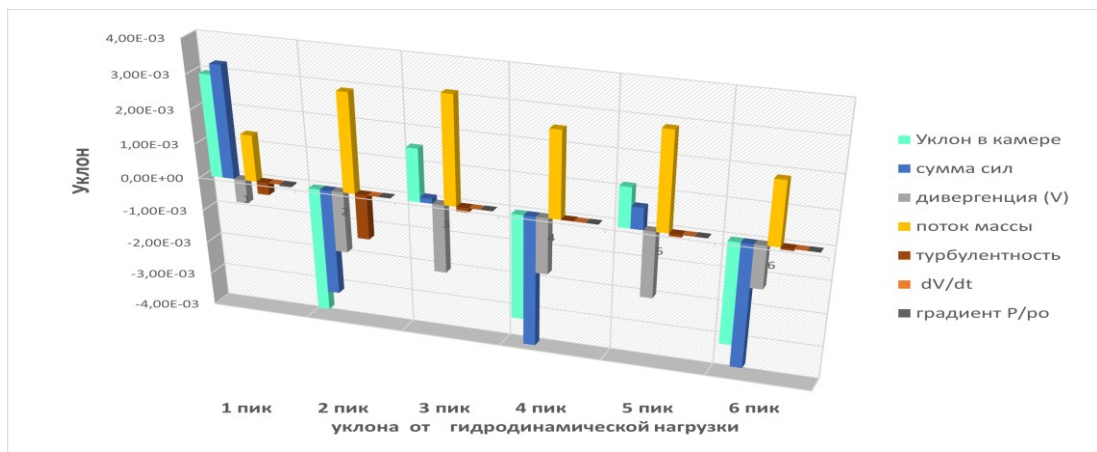


Рис. 4. Интегральные компоненты первых шести пиков уклонов

Уклоны от градиентных составляющих (градиент давления по координатам и градиент скорости по времени) являются величинами первого порядка малости по отношению к уклону в камере шлюза. Основной фактор, определяющий уклон, — это реакция бетона на механическое воздействие потока в камере. Влияние турбулентных процессов на гашение энергии также играет важную роль. На первых двух пиках гашение энергии в турбулентных вихрях более заметно. Конструктивные изменения в камере гашения могут помочь уменьшить экстремальные значения уклона. Поступление воды в камеру способствует гашению второго пика. Уклон на третьем пике формируется балансом дивергенции поля скорости и приращения потока массы в камеру. На последующих пиках уклоны не являются лимитирующими и практического интереса не представляют. Общий подход позволяет анализировать гидродинамические процессы и искать пути улучшения конструкции гасящих элементов для минимизации уклонов свободной поверхности в камере шлюза.

#### Список литературы:

1. Липатов И.В. Монография «Гидродинамика речных потоков и ее влияние на эксплуатационные параметры судоходных гидротехнических сооружений» - Н.Новгород изд, ВГУВТ – 2006, 106 с.
2. Ситнов А.Н., Решняк В.И., Слюсарев А.С. Липатов И.В. «Совершенствование методологии исследования гидродинамических процессов в камере судоходного шлюза для обеспечения ускоренного и безопасного судопропуска». - Научный журнал Научный журнал № 4, Т.2 2019, [www.morintex.ru](http://www.morintex.ru) Электронное сетевое (ISSN 2588-0233) и печатное (ISSN № 2073-7173) издание. с 194-202
3. Отделкин Н.С., Чичкин О.И., Слюсарев А.С. Липатов И.В. «Совершенствование гасительных элементов судоходных шлюзов ВДСКа на базе численного моделирования». - Научный журнал Научный журнал № 4, Т.2 2019, [www.morintex.ru](http://www.morintex.ru) Электронное сетевое (ISSN 2588-0233) и печатное (ISSN № 2073-7173) издание. с 202-208 с.

## WAYS TO IMPROVE THE DESIGN OF DAMPING ELEMENTS OF A SHIPPING LOCK

Igor V. Lipatov, Denis A. Bandin

*Abstract. Damping devices and hydrodynamic processes affect the filling rate of the lock chamber and the safe conditions of the vessel's settling. Full-scale measurements of the parameters of these processes are complex, so numerical modeling based on the Navier-Stokes*

*equations is more preferable. The article presents the results of modeling a typical gateway of the Volga-Don shipping channel. The relations between factors and hydrodynamic forces affecting the vessel are analyzed. These data can be used to modernize plant elements and optimize the process of filling the airlock chamber.*

*Keywords: ship lock, slopes of the free water surface in the sluice chamber, numerical modeling, the law of conservation of momentum, the efficiency of the damping elements.*