



УДК 629.5.024:532.54

ВЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭНЕРГИИ ВОДНЫХ ПОТОКОВ, ЗАПОЛНЯЮЩИХ КАМЕРУ СУДОХОДНОГО ШЛЮЗА

Липатов Игорь Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры водных путей и гидросооружений
Волжский государственный университет водного транспорта
603950, г. Нижний.Новгород, ул. Нестерова 5

Бандин Денис Алексеевич, аспирант, ассистент кафедры водных путей и гидросооружений
Волжский государственный университет водного транспорта
603950, г. Нижний.Новгород, ул. Нестерова 5

Аннотация. Системы гашения энергии воды, заполняющей шлюз является основным элементом работы сооружения, традиционно ее проектировали на базе лабораторного эксперимента или решения одномерным уравнений Сен-Венана. В работе предлагается использовать математическое моделирование на базе трехмерных уравнений Навье-Стокса и для анализа энергетических полей воспользоваться векторным анализом.

Ключевые слова: судоходный шлюз, система наполнения, гасительные элементы, математическое моделирование, векторный анализ.

Судоходные сооружения являются неотъемлемой частью структуры водных путей. От интенсивности и быстроты пропуска судового флота через судоходные сооружения будет определяться экономическая эффективность работы водного транспорта, а также его безопасность.

Одним из «краеугольных камней» работы судоходного шлюза является работа его системы питания, то есть с одной стороны, мы должны шлюз наполнять быстро, а с другой стороны, когда мы интенсивно подаем водный поток начинает раскачиваться волна, которая начинает кренить судно, оно наваливается на швартовые и начинает срывать их.

Идентифицируя поток, мы нарушаем безопасность. Наиболее критичным это является для шлюзов с головной системой питания, которых на наших водных путях подавляющее большинство. Для решения этой проблемы, применяют систему гашения, которая включает в себя: гасительный экран, стенку падения, стабилизирующие колодцы, балки гашения и т.д. В результате поток, падающий в камеру с высоты несколько метров в момент удара о гасительные элементы, отдает часть своей энергии и тем самым потеряв часть энергии уменьшает интенсивность волновых процессов в камере, где находится шлюзующее судно. В результате судно подвергается меньшему крену и уменьшается вероятность обрыва швартовых. Расплатой за этой может стать увеличение время

наполнения камеры, так как вторым путем снижения интенсивности волновых процессов в камере является, снижение интенсивности, подача воды в камеру.

Если система питания работает интенсивно и качественно, то она будет более безопасная, и более быстро наполняемая. Наиболее перспективным путем является повышение гасящего эффекта соответствующих элементов и корректировка векторного поля скоростей потока циркулирующего по камере в процессе наполнения

Традиционно, для исследования этих процессов используются лабораторные эксперименты. С одной стороны, лабораторные эксперимент делается в масштабе М 1:25, но недостатком его является то, что при этом достаточно некорректно производят турбулентные и энергетическо-скоростные параметры работы судоходного сооружения водного потока. Для теоретического описания волновых процессов применялось одномерное уравнение Сен-Винана, что не позволяло адекватно оценить работу каждого гасящего элемента и потери энергии в турбулентных вихрях потока.

Для решения выше озвученной задачи предлагается использовать наиболее современные методы — это методы математического моделирования. Преимущество данного метода является то, что отсутствует влияние масштабного фактора при корректном моделировании турбулентности, с другой стороны, численное моделирование позволит нам более тщательно и более глубоко исследовать структуру энергетического потока. Так как решение уравнения Навье-Стокса адекватно воспроизводит векторную структуру скоростного поля потока, заполняющего камеру.[1]

Система уравнения Навье-стокса описывает динамику поведения точки жидкости при воздействии на нее внешних внутренних сил, а также инерционного и турбулентного ускорения. Эти четыре фактора формируют структуру потока в каждой точке и энергию, которая перемещается в камеру шлюза и кренит судно. Внешними силами являются механические реакции каждого гасительного элемента, находящегося в системе гашения. Внутренние силы, будучи разделенными на плотность воды существенного влияния не имеют, а турбулентные и инерционные ускорения определяются кинематической структурой потока, двигающейся по системе питания и опосредованно зависят от работы гасительных элементов. [2,3]

Более общим критерием движения потока в камере шлюза, был бы анализ удельной энергии потока в каждой точке, а также плотность этого энергетического потока, которая связана со скоростью движения в точке. Если первая величина является скалярной, то вторая величина является векторной, для исследования которой можно применить весь существующий математический аппарат векторного анализа: дивергенция, градиент, ротор, Число Лэмба.

Из в них дивергенция характеризует поток поля через поверхность малой окрестности каждой внутренней точки области определения поля, определение дивергенции выглядит следующим образом:

В свою очередь градиент – это вектор, показывающий направление возрастания скалярной величины (значение которой изменяется от одной точки пространства к другой, между собой скалярное поле). Если применять для единичных векторов по осям прямоугольных декартовых координат, то градиент принимает следующий вид:

Также в математический аппарат векторного входит Число Лэмба, который характеризуется перекрестным произведением вектора завихренности и вектора скорости поля потока.

Таким образом мы получаем качественно новый математический аппарат для исследования перемещения потоков по движению в камерах, и надеемся, что он позволит нам найти новое конструктивное решение для камеры гашения. С целью минимизации воздействия потока на судно и получения его, с одной стороны повышения безопасности, а с другой стороны сокращения времени наполнения камеры шлюза.

Список литературы:

1. Липатов И.В., Гидродинамика речных потоков и ее влияние на эксплуатационные параметры судоходных гидротехнических сооружений: методология исследований. - Монография. / И.В. Липатов. - Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2006. - 100с.
2. Липатов И.В. Ситнов А.Н. Чичкин О. И. Аналитический подход к оценке эффективности работы элементов гашения энергии потока в транспортных гидротехнических сооружениях. МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ/ 4 (42) Т. 2 - 2018 - С. 170-176.
3. «Оценка воздействия потока на судно в процессе шлюзования», Гришаниские чтения – водные пути и русловые процессы, гидро-технические сооружения водных путей. Международная научно-практическая конференция.: Сб. науч. тр. Вып. 5. Ч. 2 / под ред. проф. Г. Л. Гладкова, К. П. Моргунова. —СПб. : Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2021. — 5 - 16 с. ISBN 978-5-9509-0459-2; ISBN 978-5-9509-0460-8

VECTOR ANALYSIS IN THE STUDY OF THE ENERGY OF WATER FLOWS FILLING THE CHAMBER OF A SHIPPING LOCK

Igor V. Lipatov, Denis A. Bandin

Annotation. The system of quenching the energy of water filling the gateway is the main element of the work of the structure, traditionally it was designed on the basis of a laboratory experiment or the solution of one-dimensional Saint-Venant equations. The paper suggests using mathematical modeling based on three-dimensional Navier-Stokes equations and using vector analysis to analyze energy fields.

Keywords: shipping lock, filling system, damping elements, mathematical modeling, vector analysis.