

МОДЕЛИРОВАНИЕ КООРДИНИРОВАННОГО ПОВЕДЕНИЯ РЫБЫ В РЫБОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

В.Д. Горячев, М.С. Зимка

Моделирование динамики прохождения рыбы через камеры рыбопропускных сооружений является целью создания вычислительной системы (ВС) FishSim. Разрабатываемая ВС планируется для гидродинамического и оптимизационного расчета перспективных конструкций рыбоводов, подъемников и шлюзовых устройств, обеспечивающих проход ценных пород рыбы к местам ее нереста.

В систему входят программы гидродинамического расчета турбулентного течения воды в камерах, лотках и каналах рыбоводов и программа моделирования движения отдельных особей рыбы с настраиваемой моделью их координированного поведения. Правила поведения задаются для расчета миграционного движения рыбы вверх по течению, интегрально осуществляемого против движения воды. Рыбы ориентируются в их миграционном движении в воде на внешние привлекающие сигналы визуально и воспринимают звуковые колебания от турбулентных пульсаций водного потока. Движение рыбы как взаимосвязанных виртуальных агентов (аниматов) определяется правилами, частично воспроизводящими поведение реальных прототипов. Внешние реактивные сигналы не определяют динамику движения агентов полностью, но корректируют её [1,2]. При реализации модели предполагается, что преобладающим фактором формирования координированного движения рыб является слежение (повторение движения) отдельных рыб за идущими перед ними другими особями, с адаптацией к переменному по ходу движения скоростному напору водной среды, который препятствует движению рыб и способствует их сносу.

Моделирование движения виртуальных агентов проводится на известном, рассчитанном предварительно, скоростном поле течения в исследуемых рыбопропускных сооружениях. Для расчета гидродинамики трехмерных нестационарных турбулентных течений возможно использование систем SINF [3], FLOW-3D [4], ANSYS CFX/FLUENT [5]. Моделирование турбулентного течения воды в рыбоходах ведется на основе решения уравнений переноса массы и импульса турбулентных течений в ограниченных областях (со свободной поверхностью в том числе), с использованием двухпараметрической модели турбулентности, с распараллеливанием вычислений по блокам расчетных областей.

Расчет движения рыбы на полученном гидродинамическом поле ведется в программе FishSim. При формировании поведенческой модели агентов в этой программе принят во внимание известный опыт создания и апробации моделей движения отдельных особей рыбы в ограниченных областях, правила их реакции на других участников движения и физические препятствия [6-8]. Поведение рыб в задаче мотивируется целью их совокупного движения вверх по потоку, с учетом привлекающих скоростных режимов течения в конструкциях камер, реального формирования встречных струй и локального управления потоками воды в рыбопропускных сооружениях.

Уравнения движения особей рыбы задаются в предположении об их простой форме (эллипсоиды) без учета их обратного влияния на поток воды. В уравнениях движения агентов учтены действующие силы физического характера, силы переноса особей рыбы несущим потоком воды с квадратичным законом сопротивления при обтекании тел. Учитывается взаимодействие агентов с возможными препятствиями и элементами конструкции камер рыбовода. Принимается во внимание возможное взаимодействие агентов (уход от возможного столкновения). Ведется учет падения мышечной активности особей рыбы, фиксируется рост их усталости при преодолении высокоскоростных участков потока и обходе препятствий. В систему уравнений входит предложенная в [8] эмпирическая дифференциальная модель связи затрачиваемой мышечной энергии рыб с количеством кислорода и молочной кислоты в мышечных волокнах. При подходе к критическому значению энергии предполагается уход агента в области камер с низкими скоростями потока, в частности их уход на дно и дрейф вблизи стенок. При восстановлении запаса энергии агентов возможно продолжение их движения. В алгоритм введена логика привлечения особей рыбы внешними факторами, побуждающими их к движению в заданном направлении: к вливающим отверстиям и зонам перелива воды из одних камер в другие, в области которых наблюдается высокий уровень пульсаций потока и высокие значения кинетической энергии турбулентности. Система дифференциальных и алгебраических уравнений динамики движения и встроенных правил поведенческой логики решается для совокупности агентов по предварительно настраиваемому сценарию. Большое количество параметров движения представительного множества моделируемых агентов требует достаточно высокой производительности ЭВМ при проведении вычислительного эксперимента.

Программа FishSim написана с использованием кросс - платформенного инструментария Qt на C++. В её состав входят препроцессор, блок импортирования геометрических характеристик технологических устройств, параметров течения, редактор задания начальных и граничных условий, блок вычислений и активизируемая программа визуализации результатов расчета FishVis. Интерфейс этой программы показан на рис. 1. Визуализацию и анализ первичных и производных полей течения, анализ траекторий движения агентов можно

вести в системе HDVIS [9]. В программе строятся карты и эпюры распределения векторных и скалярных полей, проводится генерация изоповерхностей основных скалярных функций, отображаются линии тока и треки движения агентов, проводится анимация этих объектов и т.п. В HDVIS дополнительно ведется обработка первичной информации, с генерацией вторичных полей: производных скалярных и векторных полей, тензорных величин, их связывание и выделение особенностей течения, идентификация вихревых структур. Вторичные гидродинамические поля и калибровочные траектории предпочтительного движения агентов могут быть использованы в программе FishSim для расчетов в продолжении вычислительного эксперимента.

В настоящее время ведется тестирование ВС FishSim. Для сравнительного моделирования

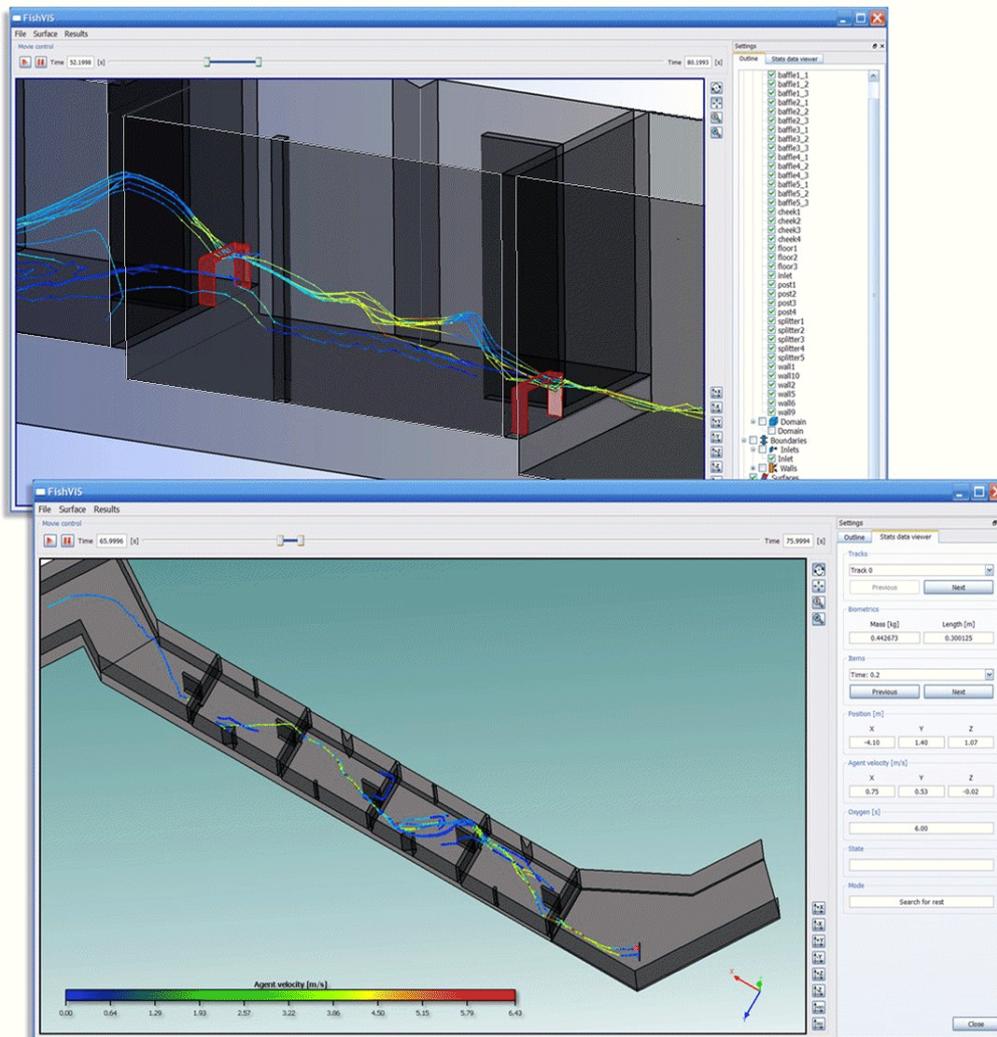


Рис. 1 Интерфейс графического постпроцессора FishVis

используются накопленные сведения о проходе рыбы через камеры рыбохода лестничного типа с неполными перегородками, действующего на Нижнетуломской ГЭС [10]. Рыбоход использовался для прохода идущий на нерест семги и других видов рыбы. Движение воды в этом лотковом рыбоходе организовано по лабиринтной схеме, с соответствующим расположением отверстий впуска рыбы и сливных зон. Камеры имеют вертикальные отсекающие профили для организации струйного течения, с выделением зон отдыха в промежуточных бассейнах. В камерах формируются области с затопленными струями и зонами торможения потоков, с водоворотами, имеющими сложную пространственную структуру.

Расчет течения в маршах рыбохода для разных конфигураций камер выполнялся с использованием программы FLOW-3D [4]. Визуализация течения в камерах рыбохода дается на рис. 2,3 (использовалась программа HDVIS). На приведенных рисунках показано распределение линий тока и линий отмеченных частиц, скоростные поля в поверхностном слое сбрасываемой воды, линии тока в камерах нижнего марша, с верхним водосливом, и в камерах с нижними впускными отверстиями, для расположенной выше части рыбохода.

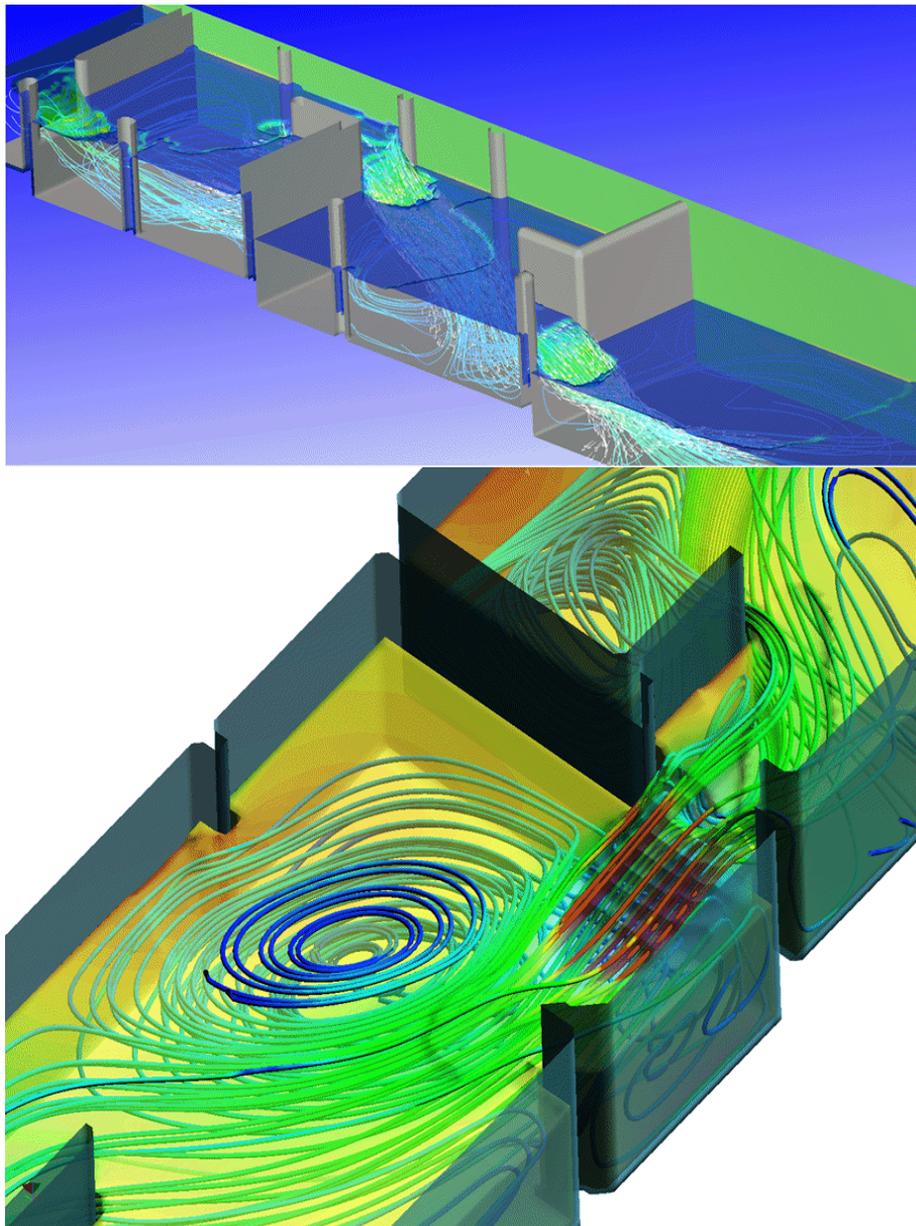


Рис. 2 Визуализация распределения струй водного потока в маршах рыбохода с верхним расположением слива

Анализ полученных гидродинамических полей показал, что отмеченные в натуральных экспериментах и при эксплуатации рыбохода результаты гидравлических испытаний достаточно хорошо подтверждаются результатами расчетов. Подтверждены интегральные характеристики гидравлики рыбохода, уровень скоростей течения в области вливных отверстий соответствует, в среднем, рекомендованному значению 2 – 2.5 м/с. Для преодоления рыбой этих зон большая скорость у потока нежелательна, рыба сносится течением и травмируется. В расчетах были выделены некоторые камеры, где локальная скорость потока достигает 4 м/с. Наличие и местоположение наблюдаемых в натуре бурных водоворотов подтверждается в подробном гидродинамическом расчете и сравнимо с экспериментальными данными исследований [10].

Все эти особенности заданного гидродинамического режима были отмечены при анализе результатов моделирования движения агентов в программе FishSim. Иллюстрации расчета траекторий показаны на рис. 1 и 3. Изображение на последнем рисунке траекторий движения множества агентов (эти траектории во времени разделены), дает представление о возможных прогнозируемых путях прохода рыбы через пространство третьей снизу камеры верхнего марша. Видно, что агенты проходят вливные отверстия вблизи их верхних кромок, там, где интенсивность турбулентных пульсаций и завихренность струйного течения принимает максимальные значения. Скорость воды здесь ниже в два-три раза скорости в центре струй. Рыба привлекается в эти области, что соответствует логике принятой поведенческой модели движения совокупности агентов. Анализ движения отдельных особей показывает, что для части рыб проход вливных отверстий с первого раза невозможен, уровень мышечной энергии у них к этому моменту становится низким для бросковых скоростей (6 м/с) при

преодоления областей с высоким скоростным напором, они опускаются на дно. Часть из них скатывается водой в нижние камеры, некоторые дрейфуют в рециркуляционных зонах у дна камер. После восстановления энергии движение рыб продолжается, и часть их переходит в верхние камеры. Наблюдается эффект периодической задержки в подъеме рыб, который отмечается в практике эксплуатации рыбоходов лестничного типа.

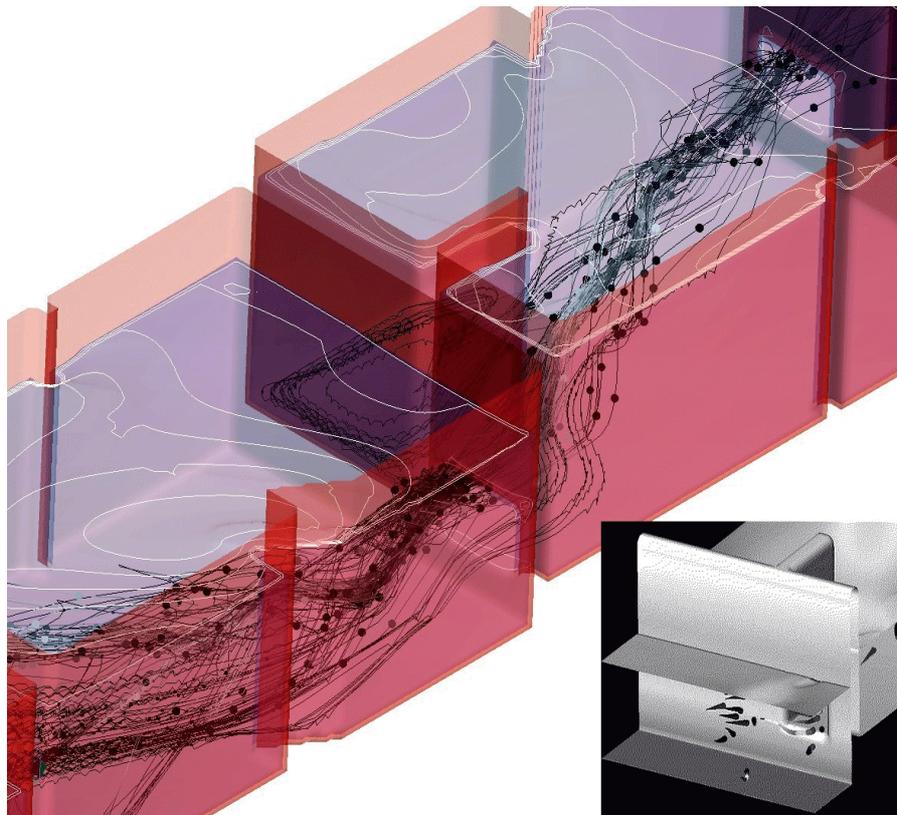


Рис. 3 Множество траекторий движения агентов, проходящих участок камер с нижними вplyвными отверстиями

Требуется значительный объем расчетов, с изменяемыми правилами поведенческой модели движения рыбы, для разных конфигураций рыбоходов, чтобы проверить работоспособность и предсказуемость результатов моделирования в ВС FishSim. Первичные результаты тестирования системы указывают на практическую возможность математического моделирования процессов с активными биообъектами в динамически сложной среде, с использованием методов искусственного интеллекта.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ по гранту № 11-07-00135.

ЛИТЕРАТУРА:

1. A. Eriksson, M. N. Jacobi, J. Nystrom, K. Tunstrom, Determining interaction rules in animal swarms, Behavioral Ecology, Vol. 21, 2010, pp. 1106 - 1111.
2. В.А. Непомнящих, Е.Е. Попов, В.Г. Редько, Бионическая модель адаптивного поискового поведения // Известия РАН. Серия теория и системы управления, 2008, №1. С. 85-93.
3. Смирнов Е.М., Зайцев Д.К. Метод конечных объемов в приложении к задачам гидрогазодинамики и теплообмена в областях сложной геометрии // Научно-технические ведомости № 2 (36). Изд-во Политехнического университета. Санкт-Петербург, 2004, С. 70-81.
4. C.W. Hirt, CFD-101: The Basics of Computational Fluid Dynamics Modeling, FLOW-3D Manual, Flow Science Press, Flow Science, Inc., Santa Fe, 2011.
5. ANSYS CFX/Fluent User's Guide. ANSYS CFX Tutorials, 2006.
6. H. Kunz, C. K. Hemelrijk. Artificial Fish Schools: Collective Effects of School Size, Body Size, and Body Form, Artificial Life, Volume 9, Number 3, 2006, pp. 237-253.
7. James W. Naefner, Mark D. Bowen, Physical-based model of fish movement in fish extraction. J. Ecological Modelling. № 152, pp. 227–245, 2002.
8. Ko Matuda, Nobua Sannomiya, Computer Simulation of the Fish Behavior in Relation to a Trap Model // Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. Vol.51 (1), 1985, pp. 33-39.
9. В. Д. Горячев, М. Е. Балашов, Е.М. Смирнов, Визуализация нестационарных течений в вычислительной гидродинамике // Труды МНК "Научный сервис в сети интернет: суперкомпьютерные центры и задачи", Изд-во МГУ, Москва, 2010, С. 50-55.

10. Скоробогатов М.А., Барекян А.Ш., Малевантик Б.С., Перспективы конструирования рыбопропускных сооружений. Журнал “Гидротехническое строительство”, № 7, 1988, С. 37-40.