

Отзыв официального оппонента

доктора физико-математических наук Воеводина Анатолия Федоровича на диссертационную работу Крат Юлии Георгиевны «Математическое моделирование донной неустойчивости в каналах с песчаным основанием», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность темы диссертационного исследования

Построение ГЭС, водонапорных станций, судоходных трасс, мостовых переходов, дамб и других инженерных сооружений требует предварительного изучения процессов возникновения донной неустойчивости и прогнозирования возможной деформации русла. Ошибочный прогноз может привести к нежелательным последствиям, как для окружающей среды, так и для человека. Натурные исследования предоставляют наиболее надежную информацию об исследуемом процессе, но уступает исследованию с помощью вычислительного эксперимента по стоимости и временным затратам и полноте получаемой информации, поэтому исследование русловых процессов с помощью вычислительного эксперимента является актуальной задачей.

Настоящая работа направлена на разработку новых математических моделей, описывающих процесс возникновения донной неустойчивости в каналах с песчаным основанием, построение и реализацию эффективных численных алгоритмов расчета задач о донной неустойчивости и выполнение на их основе вычислительных экспериментов с целью построения краткосрочного и долгосрочного прогноза изменения донной поверхности каналов.

Степень обоснованности научных положений

Обоснованность научных положений, выносимых на защиту автором, обеспечивается надежностью используемых математических моделей и методов, созданных на основе современной теории математического моделирования гидродинамических и русловых процессов.

Автором выполнен обзор и анализ существующих подходов изучения процесса возникновения и развития донной неустойчивости. На основе анализа обоснован выбор используемых уравнений в предложенных математических моделях.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы заключается в предложенных математических моделях.

Предложенная одномерная математическая модель, позволяющая описывать процесс стохастического развития донных волн, учитывает влияние свободной поверхности потока, уклонов дна и придонных касательных напряжений, лавинного обрушения донного материала, физико-механических и гранулометрических характеристик грунта. Стохастическое поведение потока донного материала учитывалось с помощью закона нормального распределения.

Предложенная одномерная математическая модель, описывающая процесс возникновения донной неустойчивости в напорных каналах, учитывает влияние уклонов дна, придонного касательного и нормального напряжений на движение грунта. На основе предложенной одномерной модели получено новое русловое уравнение, для которого найдено аналитическое решение в зависимости от гидродинамических параметров потока (чисел Фруда и Рейнольдса), при различных физико-механических и гранулометрических характеристиках донного материала.

Предложенная двумерная профильная математическая модель для исследования механизмов возникновения донной неустойчивости учитывает

турбулентную вязкость потока, придонные касательные напряжения, уклоны донной поверхности и градиент гидравлического напора.

Во всех предложенных моделях движение твердого стока описывается с помощью аналитической модели, которая ранее не применялась для моделирования рассматриваемых в работе русловых процессов.

Научную новизну представляют разработанные численные алгоритмы решения задач о развитии донной неустойчивости в каналах с песчаным основанием в одномерном и двумерном профильном приближении.

Новыми научными результатами являются полученные автором аналитические и численные закономерности формирования донных волн для нескольких задач, отличающихся режимом гидродинамического потока, начальной формой русла и характеристиками грунта, а так же их сравнительный анализ с экспериментальными данными и решениями, полученными по другим известным моделям.

Достоверность полученных результатов и их практическая значимость

Достоверность разработанных автором математических моделей обеспечивается использованием как классических, так и современных подходов в описании процесса донной неустойчивости в каналах с песчаным основанием. Предложенные в диссертации аналитические и численные алгоритмы построены с использованием методов, основанных на современной теории линейного приближения и теории математического моделирования русловых процессов. Полученные аналитические и численные закономерности формирования донных волн качественно и количественно согласуются с экспериментальными данными, что подтверждает корректность разработанных моделей и предложенных алгоритмов.

Предложенные в диссертации математические модели и разработанные программные комплексы могут использоваться для расчетов изменения донной поверхности при проектировании и строительстве гидротехнических

сооружений, при строительстве и эксплуатации трубопроводов, для прокладки судоходных трасс, для составления краткосрочных и среднесрочных прогнозов изменения песчаного дна каналов.

Все исследования, представленные в диссертации, нашли свое применение в ходе реализации грантов РФФИ, комплексной программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток», ФЦН «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Общая характеристика работы

Диссертационная работа автора изложена на 116 страницах, включает введение, 4 главы, заключение и список литературы, состоящий из 100 литературных источников.

В работе выполнен обзор научных работ по математическому моделированию процесса возникновения и развития донных волн. На основе проведенного анализа предложена общая трехмерная математическая модель, позволяющая описывать процесс возникновения донной неустойчивости в каналах с песчаным основанием.

На основе общей трехмерной математической модели сформулированы одномерные и двумерная профильная русловая задача, для решения которых разработаны и реализованы аналитические и численные алгоритмы.

Для сформулированной одномерной стохастической модели формирования донных волн выполнены вычислительные эксперименты, в ходе которых получены численные закономерности, определяющие рост и эволюцию длины волны донных возмущений во времени в зависимости от числа Фруда.

Для сформулированной одномерной математической модели, описывающей процесс возникновения донной неустойчивости в напорных каналах, получено новое русловое уравнение, для которого найдено аналитическое решение, позволяющее определить длину волны донных возмущений в зависимости от гидродинамических параметров потока (чисел Фруда и Рейнольдса), а также физико-механических и гранулометрических

характеристик донного материала. Полученное решение обобщает ряд известных феноменологических зависимостей.

Для сформулированной профильной двумерной математической модели, позволяющей исследовать механизмы, приводящие к возникновению донной неустойчивости, проведен анализ механизмов движения донного материала над периодическим дном в зависимости от параметра перекошенности донной волны.

Выполнен сравнительный анализ полученных аналитических и численных закономерностей с экспериментальными данными и решениями других авторов. На основе проведенного анализа показано, что предложенные математические модели качественно и количественно описывают процесс возникновения донных волн в каналах с песчаным основанием и могут применяться для исследования изменения русел равнинных рек и каналов.

Замечания по работе

Замечания по работе сводятся к следующему. Для решения задачи о развитии донных волн использован численный метод, основанный на методе конечных разностей и использующий схему бегущего счёта. Известно, что эта схема первого порядка аппроксимации и сходимости, то есть имеет значительную схемную вязкость. В настоящее время известны более точные разностные схемы для решения подобных задач второго порядка аппроксимации и сходимости (схемы: Годунова, Лакса-Вендроффа, Остапенко и др.). Ссылки на работы этих авторов и сравнительные расчёты в диссертации отсутствуют. Несмотря на указанные замечания считаю, что в работе предложены новые эффективные схемы для решения задач о развитии донных волн.

Заключение

Диссертация Крат Ю.Г. «Математическое моделирование донной неустойчивости в каналах с песчаным основанием» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу на актуальную тему, в

которой предложены и верифицированы новые математические модели, описывающие процесс возникновения и развития донной неустойчивости, и разработан программный комплекс для решения задач о донной неустойчивости. Полученные автором результаты можно классифицировать как новые и имеющие большое практическое и научное значение. Уровень апробации работы и опубликованные основные защищаемые положения в печати свидетельствует о достаточном личном вкладе в науку.

В целом представленная диссертационная работа соответствует паспорту специальности и требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 (ред. от 30.07.2014), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Крат Юлия Георгиевна, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

г.н.с. ИГиЛ СО РАН,
д.ф.-м.н., профессор

А.Ф. Воеводин

Подпись Воеводина А.Ф. заверяю

Ученый секретарь ИГиЛ СО РАН

И.В. Любашевская