

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ
им. А.Ю. ИШЛИНСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМех РАН)**

пр. Вернадского, д.101, к.1, г. Москва, 119526
Тел. (495) 434-00-17 Факс 8-499-739-95-31
ОКПО 02699323, ОГРН 1037739426735
ИНН/КПП 7729138338/772901001

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПМех РАН

член-корр. РАН С.Т. Суржиков

29.05.2016 № 11509/от 21712-173

На № _____

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Снигур Ксении Сергеевны «Математическое моделирование русловых процессов в каналах с песчано-гравийным основанием», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

1. Актуальность темы исследования. Исследование природных процессов и явлений с помощью математического моделирования является важной задачей современной науки. Особое значение имеет математическое моделирование русловых процессов равнинных рек с песчано-гравийным основанием. Ежегодно в стране строится большое число гидротехнических сооружений требующих учета русловых процессов и надежного, научно-обоснованного прогноза возможных изменений рек. Ненадлежащий учет закономерностей русловых процессов при проектировании гидротехнических сооружений может привести к интенсивному размыву русел рек в нижних бьефах ГЭС, заилению городских водозаборов, прорыву дамб и затоплению жилых домов и сельско-хозяйственных угодий, нарушению в работе трубопроводов, проходящих по дну рек и другим нежелательным последствиям.

Диссертационная работа Снигур К.С направлена на построение математических моделей, которые позволяют более глубоко исследовать русловые деформации в условиях измененного гидрологического и руслового режима и строить надежные прогнозы.

Математическое моделирование русловых процессов начало свое развитие в начале прошлого века, и на сегодняшний день предложено большое количество моделей транспорта донных наносов, которые можно условно разделить на три группы.

В первую группу входят местные регрессионные математические модели, они целиком основаны на анализе экспериментальных данных для конкретного участка реки и позволяют выполнять расчеты изменений дна только на той местности, для которой были получены. К такому типу относятся модели Поля, Эйнштейном, Великановым, Мирцхулавой, Михайловой, Российским, Вербицким и других исследователей.

Вторую группу моделей транспорта донных наносов образуют модели, основанные на зависимостях, содержащих феноменологические параметры. Полуаналитические модели были предложены такими исследователями, как Шильдс, Мейер-Петер, Гончаров, Гришанин, Шамов, Леви, Караушев, Знаменская, Ван Рейн, Bagnold, Bailard и Inman и др.

Последняя группа включает аналитические модели транспорта донных наносов, которые содержат аналитические зависимости без феноменологических параметров (не считая исходных параметров реологической модели). Такие модели развиваются в работах Петрова П.Г., Петрова А.Г., Потапова И.И. Они не требуют дополнительных исследований при ее переносе на другую местность и могут применяться для моделирования неравновесных потоков.

В представленной работе на основе аналитической модели транспорта влекомых наносов Петрова П.Г.- Петрова А.Г. предложены математические модели для неустановившегося руслового процесса, которые учитывают влияние физико-механических и гранулометрических параметров грунта, морфологических особенностей русла, турбулентного характера гидродинамического потока, имеющего свободные границы и нелинейность гидравлического сопротивления русла. На основе предложенных математических моделей выполнены численные эксперименты для нескольких русловых задач. Выполнен сравнительный анализ

результатов численных экспериментов с экспериментальными данными и результатами по другим моделям.

2. Новизна полученных результатов заключается в следующем:

1) предложена одномерная и двумерная математические модели, описывающие изменение во времени песчано-гравийного русла сложной топологии под действием водного потока; модели учитывают влияние транспорта взвешенных и влекомых наносов, физико-механических и гранулометрических параметров донного материала; двумерная модель учитывает турбулентную вязкость потока;

2) разработаны численные алгоритмы решения одномерной и двумерной русловых задач, проведены численные эксперименты для оценки параметров вычислительных схем;

3) выполнены численные эксперименты для нескольких русловых задач, в ходе которых получены численные закономерности формирования речного дна под воздействием гидродинамического потока при различной исходной топологии русла с учетом влияния характера гидродинамического потока, физико-механических и гранулометрических характеристик грунта. Выполнен сравнительный анализ полученных численных закономерностей с экспериментальными данными и численными закономерностями, полученными другими авторами.

Все основные результаты диссертации являются новыми.

3. Достоверность полученных результатов и выводов. Достоверность предложенных математических моделей и разработанных алгоритмов решения русловых задач обеспечивается использованием современной теории математического моделирования гидродинамических и русловых процессов, использованием методов, созданных на основе современной теории дифференциальных и интегральных уравнений. Согласование полученных численных закономерностей с известными экспериментальными данными и численными решениями, полученными по другим моделям, подтверждает достоверность предложенных моделей и их способность описывать изменения донной поверхности рек с песчано-гравийным основанием сложной топологии.

Основные результаты апробированы на всероссийских и международных научно-практических конференциях, а так же при реализации комплексной программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток», ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» и грантов РФФИ в период 2010-2015 гг

4. Значимость полученных результатов. Полученные в диссертации результаты развивают теорию математического моделирования русловых процессов песчано-гравийных равнинных рек и каналов. Основным результатом работы Снигур К.С. является разработка и верификация новых математических моделей, которые позволяют численно решить одномерную и двумерную профильную русловые задачи и предсказать изменение формы русла в краткосрочной и среднесрочной перспективе.

Практическую значимость имеет возможность применения разработанных моделей в различных условиях местности без модификации формулы расхода влекомых наносов, так как она не содержит феноменологических параметров и полуаналитических зависимостей.

Исследования, проведенные диссертантом, нашли свое применение в ходе выполнения федеральной целевой программы и ряда всероссийских и региональных грантов.

5. Общая характеристика работы. Диссертационная работа изложена на 148 страницах, состоит из введения, трех глав, заключения и библиографического списка, включающего 150 отечественных и зарубежных источников.

Во введении автором обоснована актуальность темы диссертации, изложена цель исследования, сформулированы задачи исследования, показана научная новизна работы и ее практическая значимость.

В первой главе сформулирована обобщенная трехмерная математическая модель руслового процесса. В обзорной части главы приводятся и анализируются используемые в настоящее время модели турбулентности и модели транспорта донных наносов, осуществляется выбор модели турбулентности, модели транспорта

взвешенных наносов и модели транспорта влекомых наносов для замыкания обобщенной трехмерной математической модели.

Во второй главе сформулирована одномерная математическая модель руслового процесса. На основе метода контрольных объемов разработан алгоритм решения одномерной русловой задачи. Выполнены численные эксперименты для ряда модельных русловых задач: задачи о размыве дна за водосборной плотиной, задачи о движении клина донных наносов, задачи о деформации поперечной русловой прорези. Получены численные закономерности изменения и выполнено их сравнение с экспериментальными данными и результатами, полученными другими авторами, для каждой рассмотренной русловой задачи. Сравнительный анализ подтверждает качественное и количественное согласование полученных численных закономерностей с экспериментальными данными.

В третьей главе сформулирована двумерная профильная математическая модель руслового процесса. Выполнено преобразование двумерных уравнений гидродинамики и уравнения переноса взвешенных наносов к квазигидродинамическому виду. На основе МКО, МКЭ предложен численный алгоритм решения двумерной профильной русловой задачи. Выполнено решение задачи о течении жидкости в каверне с движущейся крышкой и задачи о течении жидкости за обратным уступом для тестирования алгоритма решения гидродинамических уравнений. Выполнены численные эксперименты для задачи о размыве дна за водосборной плотиной. Показано, что полученные численные закономерности качественно и количественно согласуются с закономерностями, полученными по одномерной математической модели, предложенной во второй главе. Отмечено, что численные закономерности, полученные с помощью двумерной профильной математической модели, отражают процесс образования и развития донных волн, присущий естественным рекам и каналам с песчано-гравийным дном.

Замечания по диссертации

1. В тексте имеются опечатки и стилистические неточности, напр., на стр. 6 диссертации и стр. 4 автореферата написано «...на основе аналитической модели предложена новая математическая модель...».

2. Надо отметить, что в формулах (1.1) и (1.2) и во всех последующих по повторяющимся индексам подразумевается суммирование.

3. В формуле (1.5) появляется тензор λ_{ij} . Надо указать оценки его компонент.

4. В формулах, начиная с (3.32), надо пояснить физический смысл параметра σ .

5. На стр. 82 фигурирует довольно тонкое математическое понятие «Гильбертово пространство». В работе по инженерной гидравлике оно выглядит довольно вычурно, а главное, что ничего не добавляет, а только усложняет понимание этой части текста.

6. Результаты своей численной схемы автор сравнивает с расчетами Ермакова и Елизаровой. У автора и Ермакова линии тока – замкнутые кривые, что следует из существования однозначной функции тока. В расчетах Елизаровой линии тока незамкнуты, что сомнительно. Но автор почему-то приводит погрешность сравнения с расчетами Елизаровой. Что такое погрешность не объяснено.

Эти вопросы желательно обсудить при защите, хотя они не оказывают существенного влияния на положительную оценку в целом представленной к защите работы.

Заключение. Диссертация Снигур К.С. представляет собой законченную научно-исследовательскую квалификационную работу, в которой предложены новые математических модели русловых процессов для равнинных рек и каналов с песчано-гравийным дном, реализованы эффективные численные методы и

алгоритмы в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

Работа автора отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, автор Снигур Ксения Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв составил

д.ф.-м.н., в.н.с. лаб. механики сложных жидкостей

В.А. Калиниченко

Отзыв заслушан и утвержден в качестве официального отзыва ведущей организации на семинаре Прикладная механика сплошных сред лаборатории механики сложных жидкостей

29 марта 2016 г.

Руководитель семинара

д.ф.-м.н.

А.Н. Рожков