

**Отзыв официального оппонента**  
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»

**Актуальность темы диссертационного исследования**

Актуальность темы исследования не вызывает сомнений. Рассматриваемые в диссертации вопросы связаны с предварительным изучением русловых процессов и прогнозированием возможного изменения русла при проектировании водонапорных стаций, судоходных трасс, дамб, причалов, ГЭС и других инженерных сооружений. Широкий спектр возможных приложений и ряд преимуществ в сравнении с другими методами по денежным и времененным затратам и полноте полученной информации делают исследование русловых процессов с помощью математического и компьютерного моделирования очень важной и актуальной задачей.

Диссертационная работа направлена на разработку новых математических моделей русловых процессов для равнинных рек с песчано-гравийным основанием, построение и реализацию эффективных численных алгоритмов решения русловых задач и выполнение на их основе вычислительных экспериментов с целью построения краткосрочного и долгосрочного прогноза изменения русла.

**Степень обоснованности научных положений**

Обоснованность научных положений, выносимых автором на защиту, обеспечивается надежностью используемых математических зависимостей и методов, созданных на основе современной теории дифференциальных и интегральных уравнений.

Автором выполнен обзор и анализ существующих способов моделирования механизмов, участвующих в русловом процессе. На основе

проведенного анализа обоснован выбор используемых уравнений и математических зависимостей в предложенных математических моделях.

### **Научная новизна**

Научная новизна диссертационной работы заключается в предложенных математических моделях. Предложенная одномерная математическая модель описывает движение водного потока по дну сложной топологии и учитывает влияние транспорта взвешенных и влекомых наносов, уклона дна, физико-механических и гранулометрических характеристик грунта. Предложенная двумерная профильная математическая модель дополнительно учитывает влияние турбулентной вязкости потока. Транспорт влекомых наносов во всех предложенных моделях описывается с помощью аналитической формулы, которая ранее не применялась для моделирования рассматриваемых в работе русловых задач.

Научную новизну представляют разработанные численные алгоритмы решения русловых задач в одномерном и двумерном приближении. Новыми научными результатами являются полученные автором численные закономерности формирования дна для нескольких русловых задач, отличающихся режимом гидродинамического потока, начальной формой русла и характеристиками грунта, а также их сравнительный анализ с экспериментальными данными и результатами моделирования по другим известным моделям.

### **Достоверность полученных результатов и их практическая значимость**

Достоверность разработанных автором математических моделей обеспечивается использованием проверенных, как классических, так и современных подходов в описании русловых процессов. Предложенные в диссертации численные алгоритмы построены с использованием численных методов, основанных на теории дифференциальных и интегральных

уравнений. Полученные в ходе численных экспериментов закономерности формирования речного дна качественно и количественно согласуются с экспериментальными данными, что подтверждает корректность разработанных моделей и предложенных численных алгоритмов.

Все исследования, представленные в диссертации, нашли свое применение в ходе реализации грантов РФФИ, комплексной программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток», ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». Основные результаты работы были представлены автором на всероссийских и международных научных конференциях.

Предложенные в диссертации математические модели и разработанные программные комплексы могут использоваться для расчетов дна при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений, для прокладки судоходных трасс, при строительстве и обслуживании трубопроводов, для составления краткосрочных и среднесрочных прогнозов изменения русла равнинных рек и каналов с песчаным дном.

### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа автора изложена на 148 страницах, включает введение, 3 главы, заключение и список литературы, состоящий из 150 литературных источников.

В работе выполнен обзор литературных источников по математическому моделированию гидродинамических и русловых процессов, произведен критический анализ моделей транспорта влекомых и взвешенных наносов и моделей турбулентности гидродинамического потока. На основе проведенного анализа предложена обобщенная трехмерная математическая модель руслового процесса для равнинных песчано-гравийных рек и каналов.

Обобщенная трехмерная математическая модель применена для формулировки одномерной и двумерной профильной русловых задач, для их

решения разработаны и реализованы численные алгоритмы расчета полей скорости, давления, свободной и донной поверхностей потока.

Выполнены численные эксперименты для модельных русловых задач, в ходе которых получены численные закономерности формирования уровня донной поверхности при различной исходной топологии дна и различных режимах гидродинамического потока.

Выполнен сравнительный анализ полученных численных закономерностей с экспериментальными данными и решениями, полученными другими авторами. На основе проведенного анализа показано, что предложенные математические модели качественно и количественно описывают процесс формирования песчано-гравийного дна мелких и глубоких рек и могут применяться для исследования изменения русел равнинных рек и каналов.

### **Замечания по работе**

После прочтения диссертации возник ряд вопросов и замечаний.

1. Первая группа вопросов связана с выбором математических моделей для численного решения одномерных и двумерных задач. В первой главе диссертационной работы представлена общая трехмерная математическая модель неустановившегося руслового процесса. Было бы вполне естественно ожидать, что в последующих главах для численного решения будут использоваться полные аналоги этой модели для меньших размерностей. Но это не так. Во второй главе при помощи дополнительных предположений математическая модель сводится к более простому виду. В частности, гидродинамическая часть модели является квазистационарной. В третьей главе выполнено преобразование двумерных уравнений к квазигидродинамическому виду. То есть численные расчеты проведены для других уравнений. Хотелось бы понять, чем это вызвано. Делалась ли попытки решить одномерные и двумерные аналоги математической модели из первой главы? Какие были получены результаты и как сильно они

отличаются от результатов, представленных в диссертации? В чем преимущество подходов, используемых автором? Почему вывод квазигидродинамической системы выполнен для случая сжимаемой среды с переменной плотностью, хотя в расчетах жидкость несжимаемая?

2. Несколько вопросов связаны с выбором шагов сетки по пространству и времени во второй главе. К сожалению, нигде не сказано, являются ли предложенные разностные схемы абсолютно устойчивыми. В результатах расчетов даны относительные погрешности вычисленных и экспериментальных данных без указания значений шагов сетки. Не понятно, какой вклад в эти погрешности вносит ошибки аппроксимации. Можно ли уменьшить отклонение от результатов эксперимента за счет уменьшения шагов сетки либо аппроксимации производных со вторым порядком?

3. Последняя группа вопросов связана с особенностью задания граничных условий для одномерной модели. При численном решении задач в проточных областях обычно не принято фиксировать значения искомых величин на участке вытекания, так как эти значения могут прийти в противоречие со значениями, принесенными потоком из расчетной области. Во второй главе на выходе из области заданы осредненная скорость, глубина и горизонтальный уклон дна. Чем это вызвано? Почему нельзя зафиксировать все значения на участке втекания и проводить пересчет всех величин в одном цикле, двигаясь на каждом временном слое в одном направлении?

### **Заключение**

Диссертация Снигур К.С. «Математическое моделирование русловых процессов в каналах с песчано-гравийным основанием» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную тему, в которой предложены и верифицированы новые математические модели, описывающие изменение речного дна, и разработан программный комплекс для решения русловых задач. Полученные автором результаты можно классифицировать как новые и имеющие большое практическое и научное

значение. Уровень аprobации работы и опубликованных в печати основных защищаемых положений 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, Снигур Ксения Сергеевна, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

старший научный сотрудник ФГБУН  
Институт прикладной математики ДВО РАН  
кандидат физико-математических наук  
Терешко Дмитрий Анатольевич  
690041, Владивосток, ул. Радио, 7  
e-mail: ter@iam.dvo.ru  
тел. +7(423)2311397  
«22» 03 2016 г.

Д.А. Терешко

Личную подпись официального оппонента

Терешко Д.А. удостоверяю  
Ученый секретарь ФГБУН ИПМ ДВО РАН  
кандидат физико-математических наук

«22» 03 2016 г.



В.А. Святуха