



УДК 627.4

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ УЧАСТКОВ РЕК

Агеева Вера Валерьевна, к.т.н., доцент кафедры гидравлики ФГБОУ ВО «ННГАСУ»
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65

Агеев Сергей Олегович, к.т.н., главный геолог (заместитель начальника) службы
главного маркшейдера ФБУ «Администрация Волжского бассейна»
ФБУ «Администрация Волжского бассейна»
603001, г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, 21 «Б»

Люкина Екатерина Андреевна, студент ФГБОУ ВО «ННГАСУ»
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65

Матюгин Михаил Александрович, к.т.н., доцент кафедры водных путей и
гидросооружений ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Аннотация. В условиях активного освоения рек инженерные мероприятия привели к различным неблагоприятным последствиям. Прогнозировать влияние объектов и сооружений как друг на друга, так и на судоходные и гидрологические условия в целом, целесообразно путем математического моделирования русловых процессов участков рек. Рассмотренные работы не дают универсальности в подходе решения поставленной задачи, они ограничиваются конкретными целями и не всегда учитывают всех водопользователей. Задача предстоящих исследований состоит в обобщении имеющегося опыта математического моделирования и подготовке комплексного решения освоения участков рек.

Ключевые слова: математическое моделирование, гидротехнические сооружения, выправительные сооружения, судоходные условия, экологическое состояние реки, освоение участков рек.

Россия первой из стран Европы завершила в 1975 г. процесс создания Единой глубоководной системы (ЕГС) путей страны и континента в целом, связавшей судоходными путями все омывающие Европу моря [1]. В то же время, русла и поймы рек, являясь важнейшим естественным фактором жизнеобеспечения, чрезвычайно чувствительны и уязвимы к изменениям под воздействием хозяйственной деятельности

человека. Выполненные ранее на водных объектах инженерные мероприятия к настоящему времени привели к неблагоприятным экологическим последствиям на большинстве судоходных рек Российской Федерации.

В данной работе исследования русловых деформаций, гидрологии и гидравлики потоков в условиях инженерного вмешательства человеком, рассматриваются с позиций организаций, эксплуатирующих внутренние водные пути, которые решают конкретные производственные задачи. В частности, на отдельных участках рек сложилась нежелательная экологическая и судоходная обстановка, чему способствовало значительное переуглубление перекатов в целях гарантирования судоходных глубин. Проблема обеспечения судоходного состояния рек по сей день стоит довольно остро: так, в 1970 году было освоено 144,5 тыс. км пути, а на сегодняшний момент 101,6 тыс. км.

В подавляющем большинстве случаев преобладающим на гидрологический и русловой режимы рек является влияние добычи нерудных строительных материалов из русловых карьеров (песок, песчано-гравийные материалы и т.д.). С одной стороны русловая добыча способствует увеличению грузопотоков на реках и обеспечению заказчиков качественными строительными материалами, с другой – добыча полезного ископаемого в больших объемах без обоснования места расположения и технологии работ несет за собой ряд негативных последствий, что усложняет судоходство в них, а в некоторых случаях делает его невозможным [2]. Поэтому при планировании габаритов водного пути на перспективу необходимо устанавливать допустимые пределы возможного их увеличения с учетом современного состояния гидрологического и руслового режимов рек [1].

Все сооружения (гидроузлы, нижние и верхние бьефы водохранилищ, запруды и полузапруды, мосты, карьеры и т.д.) в той или иной степени влияют на русловой режим реки каждый по отдельности и во взаимодействии. При этом комплексное влияние сооружений на русловой режим оценивается весьма опосредованно.

В условиях остро стоящей проблемы экологического и судоходного состояния рек, целесообразно прогнозировать и оценивать влияние сооружений на состояние реки на начальных стадиях проектирования, что в настоящий момент проводится, однако в ряде случаев вызывает вопросы к объему и методам исследований. Так, например, часть выправительных сооружений строится лишь на основе интуитивного опыта путейцев, что порой приводит к низкой эффективности проводимых работ. При этом поиски оптимального решения занимают продолжительное время и основываются на традиционных методиках, которые не учитывают все факторы и не дают полноценную информацию.

Учитывая, что русло и пойма являются динамичной средой, в которой нарушения гидравлики потока и морфологии русла могут распространяться далеко вверх и вниз от места их возникновения, предлагается с помощью численного моделирования запроектировать протяженный участок реки, чтобы в дальнейшем вписывать в него различные гидротехнические, выправительные сооружения и объекты (в т.ч. карьеры) и анализировать их влияние на окружающую среду и судоходное состояние реки. Предполагается, что это позволит устранить коллизии, возникающие между различными водопользователями.

Первоначальной целью работы стало изучение уже существующих программных комплексов и анализ их возможностей. Изученные работы не дают универсальности в подходе решения поставленной задачи: вписать в рассматриваемый участок реки с имеющейся инфраструктурой какое-либо сооружение, будь то карьер, полузапруда или что то еще. Эти работы дают уникальные решения задач на конкретных участках (р. Обь, р. Амур, участок с каскадом гидроузлов) [3, 4, 5]. Задача авторов видится в обобщении уже имеющегося опыта для более протяженного участка реки.

Цифровая модель рельефа создается с применением ГИС-технологий, а дальше переносится в программу, специализирующуюся на моделировании открытых потоков. Такие программы могут решать задачи в одномерной, двухмерной и трехмерной

постановках. А.Т. Зиновьев в своей работе [3] предлагает апробированные программные комплексы типа Delft3D, MIKE 21, имеющие широкий диапазон возможностей для успешного решения научно-практических задач. Программный комплекс «STREAM 3D» предназначен для расчета трехмерных гидродинамических и термических полей, полей загрязнений в водоемах и водотоках с учетом температурной и плотностной стратификации, приливных и ветровых течений при наличии гидротехнических сооружений [6]. ПК FlowVision предназначен для численного моделирования трехмерных ламинарных и турбулентных течений жидкости, а также визуализации этих течений методами компьютерной графики. Программный продукт ANSYS Fluent является мощным инструментом, позволяющим моделировать практически любые виды течения жидкости. Программное обеспечение MIKE Powered by DHI предназначено для решения большого спектра задач гидрологического, экологического и гидродинамического моделирования, что говорит о возможности применения программных продуктов линейки MIKE Powered by DHI для решения поставленных далее целей.

Основными целями проводимых исследований является:

- подготовка комплексного решения освоения участков рек (улучшение судоходного и экологического состояния реки, возможность изъятия водных ресурсов, возможность изъятия донного грунта (полезного ископаемого) и т.д).
- устранение коллизий между различными заинтересованными лицами, осуществляющими деятельность на реках Российской Федерации. Готовая модель участка с уже построенными сооружениями позволит вписывать новые сооружения с учетом их влияния друг на друга, при этом даст возможность выбора более оптимальных мест.
- подготовка рекомендаций для корректировки разработанной модели с целью ее актуализации.
- разработка алгоритма решения освоения участков рек, с целью его применения на схожих участках.

Решение поставленных задач предлагается осуществить на примере участка реки Волги от Волжского гидроузла до входа в Волго-Донской канал, т.к. данный участок является сложным по следующим причинам [7, 8]:

- безнапорное состояние участка реки (Волжский гидроузел является замыкающим гидроузлом Волжского каскада);
- просадка уровней на свободном участке реки (речной участок);
- многорукавность участка реки;
- потребность регионов (расположенных по берегам рассматриваемого участка) в полезных ископаемых;
- исчезновение мест нереста рыбы;
- эрозия почвы вдоль береговой линии (обрушение берегов, обнажение старинных захоронений).

Результаты исследований будут иметь существенное значение для:

- прогнозов влияния строительства в руслах и поймах на гидрологию рек.
- решения задач по оценке взаимного влияния уже имеющихся и проектируемых сооружений.
- для выявления экологического и судоходного состояния рек.
- для освоения рек различными водопользователями.

Список литературы:

1. Гладков Г.Л., Чалов Р.С., Беркович К.М. Гидроморфология русел судоходных рек. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. Адм. С.О. Макарова, 2016. – 434 с.
2. Агеева В.В., Люкина Е.А., Матюгин М.А. Оценка воздействия разработки карьера на гидрологию участка реки и условия судоходства // Труды 2-го Международного научно-промышленного форума «Транспорт. Горизонты развития». Нижний Новгород – Новосибирск – Владивосток. Научные проблемы водного транспорта, 2022. – С. 1–3.

3. Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б., Марусин К.В., Кошелев Е.Д. Математическое моделирование руслового потока для прогнозов влияния строительства в поймах на гидрологический режим крупных рек (на примере р. Обь) // Водное хозяйство России, №2, 2017. – С. 54–72.
4. Потапов И.И. Математическое моделирование гидродинамических и русловых процессов реки Амур // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, №4 (5), 2011. – С. 2438–2439.
5. Бурланков Н.Д. Математическая модель гидравлического режима реки с каскадом гидроузлов // Диссертация на соискание уч.ст. канд.техн.наук. Н.Новгород, 2001. – 209 с.
6. Беликов В.В., Алексюк А.И. Основы численного моделирования динамики речных потоков: учебное пособие. – М.: 2020. – 329 с.
7. Бухарицин П.И. Геоэкология природных комплексов низовьев Волги в условиях антропогенного воздействия: коллективная монография // П.В. Бухарицин, А.Ю. Овчарова, А.А. Токарева, Г.В. Кутлусурина. – Saarbrücken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. – 288 с.
8. Кривичев А.И., Сидоренко В.Н. Актуальные проблемы Волжского бассейна и современные подходы к их решению // Вестник Евразийской науки, №6, 2019. – С. 2–9

MATHEMATICAL MODELING IN PREDICT RIVERBED PROCESSES OF RIVER SECTIONS

Vera V. Ageeva, Sergey O. Ageev, Ekaterina A. Lyukina, Mikhail A. Matyugin

Abstract. In the conditions of active development of rivers, engineering measures have led to various adverse consequences. It is advisable to predict the impact of objects and structures both on each other and on navigable and hydrological conditions in general by mathematical modeling of riverbed processes of river sections. The considered works do not provide universality in the approach to solving the task, they are limited to specific goals and do not always take into account all water users. The task of the upcoming research is to generalize the existing experience of mathematical modeling and prepare a comprehensive solution for the development of river sections.

Keywords: mathematical modeling, hydraulic structures, straightening structures, navigable conditions, ecological state of the river, development of river sections.

Тел.: +7(910) 795-34-66; эл. почта: luykinakatya@yandex.ru