

УДК 627.4

**Шестова Марина Вадимовна**<sup>1</sup>, доцент, к.т.н., доцент кафедры ВПиГС

e-mail: shestowam@yandex.ru

**Молчанова Марианна Владимировна**<sup>1</sup>, старший преподаватель кафедры ВПиГС

e-mail: Marianm2007@yandex.ru

**Решетников Максим Алексеевич**<sup>1</sup>, к.т.н., старший преподаватель кафедры ВПиГС

e-mail: serfskiwind@gmail.com

**Милицын Дмитрий Алексеевич**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедры ВПиГС

e-mail: miltsinda@mail.ru

<sup>1</sup>Волжский государственный университет водного транспорта, г.Нижний Новгород, Россия

### РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЯХ УЛУЧШЕНИЯ СУДОХОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ВЕРХНЕЙ КАМЕ

*Аннотация.* Результаты гидравлических расчетов при выборе схемы коренного улучшения судоходных условий на лимитирующих перекатах рек являются основой для принятия проектных решений по их улучшению. На примере Верхней Камы на участке от с.Бондюг до пгт.Керчевский изучены необходимые условия и возможные варианты улучшения судоходных условий посредством проведения комплекса дноуглубительных и выправительных работ.

*Ключевые слова:* судоходные условия, гидравлические расчеты, гарантированные габариты, гидрологический режим, дноуглубительные работы, выправительные работы, русловые деформации.

Цель настоящего исследования заключалась в разработке комплекса путевых работ, позволяющих улучшить судоходные условия на Верхней Каме. Особенностью исследуемого участка реки Камы от с.Бондюг до пгт.Керчевский (протяженностью 77 км) является то, что судоходство в современных условиях осуществляется лишь в весенний полноводный период после очищения реки ото льда. При этом участок пути используется для вывоза продуктов лесопереработки, буксировки леса в плотях, а также для экспедиционного завоза массовых грузов: песчано-гравийных материалов, угля, горюче-смазочных материалов. Гарантированные габариты пути на этом участке не установлены и не поддерживаются. Продолжительность действия судоходной обстановки и, следовательно, навигации менялась от 10 суток (2002 г.) до 23 суток (2015 г.).

Дноуглубительные работы на лимитирующих перекатах на Верхней Каме производятся для выравнивания глубин в единичных случаях. Выправительные работы в период с 1995 г. и по 2021 г. не планировались и не производились.

С учетом имеющегося потенциала и потребности в увеличении объемов грузоперевозок в ходе выполнения исследований было предложено и обосновано проектное решение, предусматривающее продление навигации до 50 суток с принятыми гарантированными габаритами: глубина 1,3 м, ширина 60 м, радиус закругления 600 м [1, 2]. В качестве проектного уровня воды был принят и обоснован расчетный уровень воды 80% обеспеченности.

Для решения поставленной задачи на основании выполненного анализа многолетних русловых деформаций и принятого положения нового судового хода был разработан комплекс путевых работ, включающий дноуглубление и возведение выправительных сооружений. При этом на исследуемом участке р.В.Кама протяженностью 77 км было выделено восемь проблемных водных узлов, для каждого из которых разработана схема коренного улучшения судоходных условий. Основные сведения о затруднительных для судоходства участках (водных узлах), а также предложенные варианты улучшения судоходства приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Затруднительные участки исследуемого водного пути с.Бондюг – пгт.Керчевский на р. В.Кама (километраж по старому судовому ходу) и предложенные варианты улучшения судоходных условий на них

№ п/п	Расположение затруднительного участка	Наименование перекатов	Предложенный вариант улучшения судоходных условий
1	7-11 км	Верхнешакшерский	Судоходная прорезь и полузапруда
2	22, 8-23,48 км	Верхнеяранский	Судоходная прорезь
3	28-35 км	Лопатинский Обуховский	Пять судоходных прорезей и два выправительных сооружения
4	41-42 км	Амборский	Судоходная прорезь
5	43-46 км	Долдынский	Перенос судового хода с разработкой судоходной прорези + струенаправляющая дамба
6	51-53 км	Корнинский	Две судоходные прорези
7	57,5-58,5 км	Гашковский	Судоходная прорезь
8	74-77км	Нижнебондюжский	Две судоходные прорези

Исследования по каждому водному узлу велись на основе гидравлических расчетов, включающих в себя:

1. Расчет распределения расхода воды по двум рукавам (Долдынский водный узел).
2. Оценка режима скоростей течения в зонах судоходных прорезей и прогноз деформаций судоходных прорезей на лимитирующих по глубинам участках водного пути р. Кама.
3. Определение объемов дноуглубительных работ.
4. Расчет основных параметров выправительных сооружений.
5. Определение объемов грунта, необходимого для возведения выправительных сооружений.

Расчет распределения расхода воды по рукавам на Долдынском водном узле выполнялся для обоснования возможности переноса судового хода. Расчет выполнялся для двух расчетных режимов:

- при уровне воды 80% обеспеченности, принятом за проектный;
- при расчетном уровне воды.

В качестве расчетного был принят уровень воды, отвечающий руслоформирующему расходу воды, то есть расходу, при котором поток оказывает наиболее сильное влияние на формы русла. Для этой цели была построена кривая зависимости руслоформирующих расходов от уровней воды (рисунок 1), с помощью которой определена величина расчетного уровня воды  $H_p=300$  см. Данный уровень воды является условным проектным, отнесенным к гидропосту Бондюг.

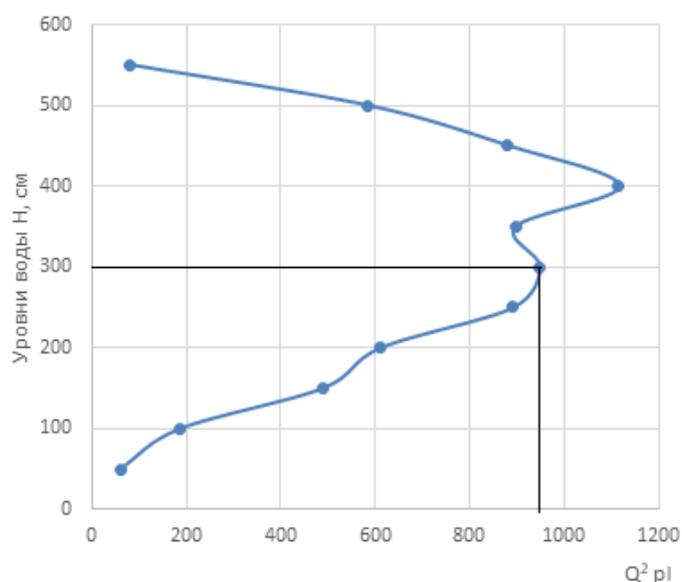


Рисунок 1 - Зависимость уровней воды от величины  $Q^2pl$ .

Результаты расчетов распределения расхода воды по рукавам приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Сводные результаты расчета распределения расхода воды по рукавам.

Расчетные варианты	Общий расход воды, м <sup>3</sup> /с	Расход воды по рукавам, м <sup>3</sup> /с (%)	
		Левый (несудоходный)	Правый (судоходный)
При уровне воды 80% обеспеченности	435,21	280,39 (64%)	154,82 (36%)
При расчетном уровне воды	985,43	507,04 (51%)	478,39 (49%)

Анализ полученных результатов, в первую очередь, при уровне воды 80% обеспеченности, подтверждает целесообразность переноса судового хода в левый рукав.

Оценка режима скоростей течения в зоне судоходных прорезей производилась с помощью построения плана течений и разбивки речного потока на ряд струй с равновеликими значениями расхода воды [3]. В основу построения плана течений положен метод М.А. Великанова (способ плоских сечений) [4].

На всех лимитирующих по глубинам участках водного пути р. Кама (с.Бондюг-пгт.Керчевский) были намечены и построены поперечные сечения в характерных местах русла реки; определены их параметры. Построены интегральные кривые расходов и планы течений.

Для прогноза деформаций судоходных прорезей, возникающих в результате изменений в скоростном режиме движения потока, рассматривалась одна или две струи потока, наиболее плотно вписывающиеся в контуры судоходной прорези. В границах этих струй на каждом поперечном сечении вычислена средняя скорость течения ( $V_{ср}$ ) и затем сопоставлена с неразмывающей ( $V_{нр}$ ) и размывающей ( $V_p$ ) скоростями течения в границах аналогичного числа струй.

По результатам расчета построены совмещенные графики изменения  $V_{ср}$ ,  $V_p$  и  $V_{нр}$  по длине участка в границах поперечных сечений и сделаны выводы по каждой судоходной прорези. Анализ графиков показал, что практически все перекаты за счет малых значений средних скоростей подвержены процессу заносимости, что требует ежегодного выполнения дноуглубительных работ.

Помимо проведенной общей оценки влияния прорезей на гидравлику потока, оценка устойчивости капитальных прорезей в рамках исследования производилась также расчетом деформаций прорези по балансу наносов, которые необходимо учитывать для прогноза ежегодной заносимости и планирования ежегодного объема эксплуатационных дноуглубительных работ [3, 4].

Для определения объема дноуглубительных работ использовались несколько способов [5]:

- способ продольных профилей;
- способ вертикальных разрезов;
- путем построения цифровой модели рельефа (ЦМР) дна участка реки в системе автоматизированного проектирования (САПР) с последующим геометрическим проектированием судоходной прорези.

Общий объем дноуглубительных работ на участке составил 172,54 тыс. м<sup>3</sup>, а с учетом запаса на технологическое переуглубление (принятым 0,4 м) – 276,94 тыс. м<sup>3</sup>. Максимальный объем дноуглубительных работ пришелся на судовой ход в пределах 7-11 км. Средняя толщина снимаемого слоя на участке без учета запаса составляет 0,66 м.

На исследуемом участке реки Верхняя Кама в рамках улучшения судоходных условий запроектировано четыре выправительных сооружения, в том числе две полузапруды и две струенаправляющие дамбы. Поскольку рассматриваемый участок р.В.Кама от с.Бондюг до пгт.Керчевский в местах расположения выправительных сооружений достаточно удален от крупных населенных пунктов и имеет слабо развитую дорожную сеть для возможности оперативной доставки строительных материалов, в качестве основного строительного материала было предложено использование местного грунта (песка разнозернистого) без дополнительного крепления.

Основная технология устройства всех четырех сооружений сходна и заключается в формировании тела насыпи путем отсыпки плавучим краном грунта из воды [6,7]. В качестве строительного уровня воды принят уровень спада половодья на 1,5 м ниже условного проектного уровня, соответствующего отметке «+300 см» по гидропосту Бондюг.

Определение необходимого объема грунта на возведение выправительных сооружений выполнено путем построения цифровой модели рельефа дна участка реки в системе автоматизированного проектирования с последующим геометрическим проектированием выправительного сооружения. Результаты определения объемов грунта сведены в таблицу 3.

*Таблица 3 – Объемы грунта на выправительные сооружения*

№ п/п	Выправительное сооружение	Объем надводного яруса, м <sup>3</sup>	Объем подводного яруса, м <sup>3</sup>	Полный объем грунта, м <sup>3</sup>
1	Полузапруда на 6 км с/х	-	2 611,8	2 611,8
2	Дамба на 28 км с/х	1 896,6	8 906,2	10 802,8
3	Дамба на 34 км с/х	5 536,5	10 406,4	15 942,9
4	Полузапруда на 45 км с/х	105,1	522,6	627,7

Таким образом, в ходе выполненных исследований на основании полученных результатов гидравлических расчетов был разработан комплекс путевых работ, позволяющих улучшить судоходные условия на Верхней Каме от с.Бондюг до пгт.Керчевский.

#### **Список литературы:**

1. Труды ЦНИИЭВТ(а) Проектирование судовых ходов на свободных реках. Выпуск 36. / под ред. Маккавеева Н.И. – М.: Транспорт, 1964. – 264 с.

2. Проектирование судовых ходов на свободных реках. Труды ЦНИИЭВТа под ред. проф. Н.И. Маккавеева. М., «Транспорт», 1964.
3. Руководство по проектированию коренного улучшения судоходных условий на затруднительных участках свободных рек. МРФ. Ленинград, «Транспорт», 1974.
4. Гришанин, К.В. Водные пути / К.В. Гришанин, В.В. Дегтярев, В.М. Селезнев. – М.: Транспорт, 1986. – 400 с.
5. Инструкция по землечерпательным работам / Минречфлот РСФСР. – М.: Транспорт, 1989. – 64 с.
6. СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты.
7. Гладков, Г. Л. Водные пути и гидротехнические сооружения [Текст]: Учебник для вузов / Г. Л. Гладков, М.В. Журавлев, А.В. Москаль, А.М. Гапеев, М.А. Колосов: – СПб, СПГУВК, 2011. – 440 с.

**THE RESULTS OF HYDRAULIC CALCULATIONS AND THEIR USE IN  
DESIGN SOLUTIONS TO IMPROVE SHIPPING CONDITIONS ON THE  
VERHNYAYA KAMA**

Marina V. Shestova, Marianna V. Molchanova, Maksim A. Reshetnikov, Dmitriy A. Milzin

*Abstract.* The results of hydraulic calculations when choosing a scheme for radically improving navigable conditions on limiting river rifts are the basis for making design decisions to improve them. On the example of the Verhnyaya Kama on the site from the village of Bondyug to the village Kerchevsky studied the necessary conditions and possible options for improving shipping conditions through a complex of dredging and straightening works.

*Keywords:* navigable conditions, hydraulic calculations, guaranteed dimensions, hydrological regime, dredging, straightening works, channel deformations.