

УДК 656.6

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО ПОТОКА В РАЙОНЕ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ РУСЛЕ РЕКИ

Куприна Екатерина Максимовна¹, ассистент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений

e-mail: k_kuprina98@mail.ru

Воронина Юлия Евгеньевна¹, к.т.н. доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений

e-mail: yulez@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Оценка результатов исследований в районе мостовых переходов, устроенных в руслах судоходных рек требует верификацию не только с помощью математического моделирования, но и путем выполнения физического моделирования в лаборатории русловых процессов на экспериментальном лотке. Однако проблемы, связанные с масштабированием, приводят к погрешности измерений.

Ключевые слова: мостовые переходы, физического моделирования, речной поток, экспериментальный лоток, погрешности измерений.

PHYSICAL MODELLING OF RIVER FLOW IN THE AREA OF BRIDGE CROSSINGS ON A NATURAL RIVER CHANNEL

Ekaterina M. Kuprina¹, Assistant at the Department of Waterways and Hydraulic Structures

e-mail: k_kuprina98@mail.ru

Yulia E. Voronina¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Waterways and Hydraulic Structures

e-mail: yulez@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Assessing the research results in the area of bridge crossings constructed in the channels of navigable rivers requires verification not only through mathematical modelling but also by conducting physical modelling in a laboratory of channel processes using an experimental flume. However, issues related to scaling lead to measurement errors.

Keywords: bridge crossings, physical modelling, river flow, experimental flume, measurement errors.

Оценка результатов деформационных исследований в районе мостовых переходов, требуют обязательную верификацию не только с помощью математического моделирования, но и путем выполнения физического моделирования в лаборатории русловых процессов на экспериментальном лотке.

Для этих целей была выполнена оценки деформационного состояния русла реки с мостовыми переходом на главной экспериментальной базе ФГБУ «ГГИ». В качестве объекта исследования принимается участок в створе Демского железнодорожного моста р. Белая, г. Уфа. Мостовые опоры мостового сооружения хорошо обтекаемой формы (рисунк 2). Коэффициент формы 0.85 по методологии местного размыва ММ Журавлева [1].

Технической основой для модели послужил гидротехнический лоток с параметрами: ширина - 2м; длинна 40м. Лоток проиллюстрирован на *рисунке 1*.



Рисунок 1 – Общий вид гидравлического лотка

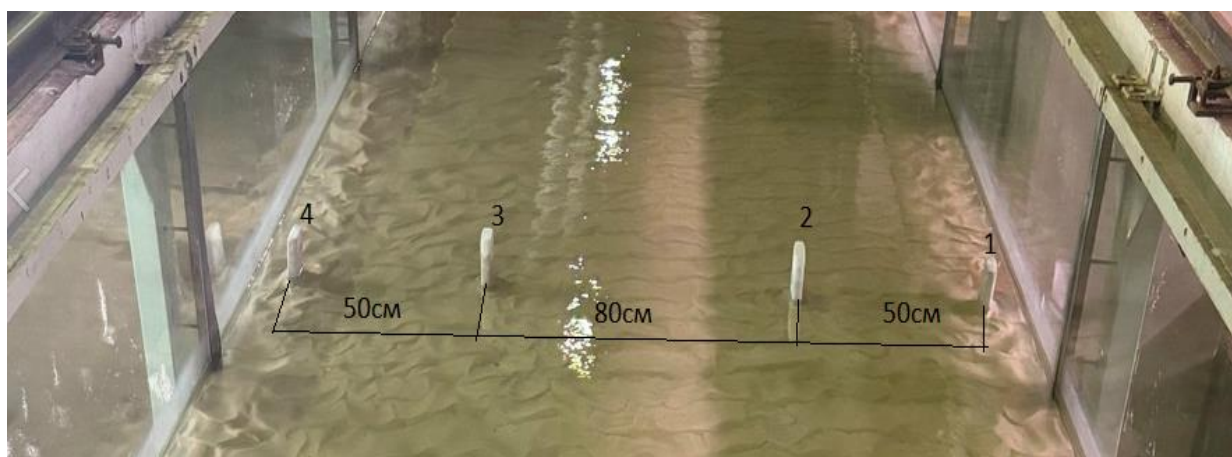


Рисунок 2 – Схема расстановки мостовых опор у первого створа

В рамках работы воспроизводился фрагмент общего течения реки в зоне мостового перехода.

Для корректности моделирования речных участков на неискажённых гидравлических моделях было необходимо соблюсти три вида гидромеханического подобия: динамическое, геометрическое и кинематическое [2].

Геометрическое подобие в данном опыте модели подразумевает равенство всех линейных масштабов:

При этом подобие геометрической шероховатости будет достигаться путем достижения равенства гидравлического сопротивления русла, шероховатости и средних диаметров грунта слагаемых русло.

Применимо к выполняемой лабораторной работе коэффициент геометрического подобия будет равен 150. И в том, и в другом случае полученное число Рейнольдса превышает критическое значение

$$Re_{\text{мод}} = \frac{VT}{\gamma} > Re_{\text{кр}}, \quad (1)$$

где Re - число Рейнольдса;
 V - скорость потока (м/с);
 T - глубина потока, м;
 γ - удельный вес жидкости (Н/м³).

Для сохранения условия динамического подобия физической модели с натурной необходимо сохранение равенством числа Фруда:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gT}} = idem, \quad (2)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с².

Таким образом, при условии равенства геометрических масштабов и масштабов уклонов, масштаб скоростей будет иметь вид:

$$a_v = a_T^{1/2}, \quad (3)$$

где $a_T^{1/2}$ - масштаб по глубине.

Для нахождения необходимого расхода воды может быть использована упрощенная формула $Q = BTV$.

Тогда масштаб расхода будет иметь вид:

$$a_Q = a_T^{1/2}. \quad (4)$$

Особое внимание было уделено гранулометрическому составу донных наносов. Согласно, геологическому строению в районе объекта исследования. Грунт основания является мелкосредний и средний галечник диаметром до 50.5 мм. Средний диаметр грунта принимается $d_{\text{ср}} = 20,3$ мм. Средний диаметр грунта основания на модели 0.2 мм, что полностью удовлетворяет условиям подобия. Уровни воды на модели задавались относительно «0» - гидропоста Уфа.



Таблица 1. Результаты расчета физического моделирования

N	Глубина Т, м	Средняя скорость V , м/с	Число Фруда F_r	Расход Q л/с- модель м3/с –в натуре
модель / в натуре				
1	0.035/5.2	0.1/1.22	0.18/0,17	10/2755,67
2	0.05/7.0	0.13/1.59	0.18/019	15/4133.54
	0.07/8.5	0.1/1.22	0.12/0.133	20/5511,35

Верификация (тарировка) результатов, полученных на гидравлической модели, выполнялась путём сопоставления их с натурными данными, полученными по результатам работы русловой изыскательской партии Бельского района водных путей и судоходства [3]. В лотке была проведена серия экспериментов на каждой модели при различных расходах воды (10, 15, 20 л/с) при постоянном продольном уклоне водной поверхности (1 см на 10 м длины лотка) (рисунк 3).

В ходе опытов для каждого расхода фиксировался установившийся уровень воды. Затем, с использованием принятого коэффициента геометрического подобия, модельные уровни воды пересчитывались в соответствующие им натурные уровни.

Полученные значения уровней наносились на кривую связи зависимости уровня воды от расхода, взятым по гидропосту Уфа. По этому графику определялись реальные расходы, которые бы соответствовали снятым уровням. По полученным результатам проводилось сравнение расходов между натурными и расходами и заданные лабораторным путем.

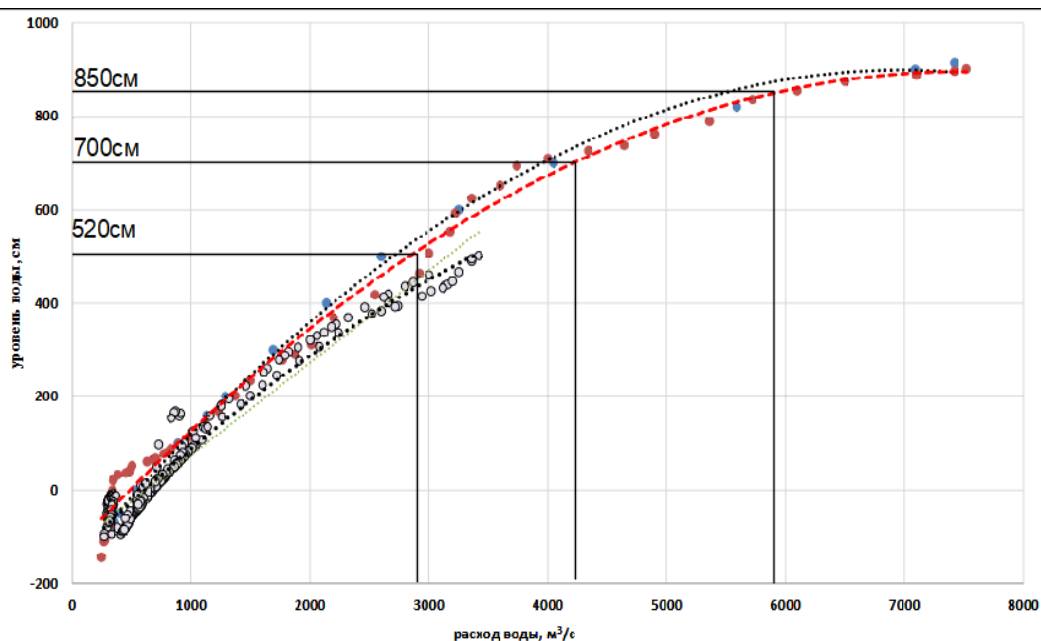


Рисунок 3 – Тарированный график связи расхода воды и уровней

Полученные результаты выявили систематическое расхождение до 6,5%. Во всех случаях значения, полученные в натуре, превышают модельные (опытные). Это указывает на систематическое занижение результатов на модели. Данная причина может быть в масштабном коэффициенте. На практике при моделировании при уменьшении реального объекта до лабораторной модели невозможно идеально сохранить геометрическое и динамическое подобие всех параметров одновременно.

Цитата Гришина М.М: «Одновременное удовлетворение критериев Фруда и Рейнольдса возможно лишь при масштабе модели 1:1, т.е. на самом натурном объекте. При $M_L > 1$ исследователь всегда стоит перед выбором — каким из критериев подобия пренебречь» [4].

В таких случаях допускают небольшой компромисс, сознательно допуская погрешность в полученных результатах.

В результате некоторые эффекты, значимые в натуре, могут быть искажены или вовсе не воспроизведены в модели. Это приводит к необходимости введения различных критериев подобия, но даже при их соблюдении полное соответствие между моделью и реальностью недостижимо.

В таких случаях обычно в инженерных расчётах допускается расхождение до 10–15%, в связи сложностью природных условий и погрешностей в измерении.

Таким образом, в результате физического эксперимента в гидравлическом лотке зафиксированы основные результаты влияния не только ширины мостового пролета, но и обтекаемости формы мостовых опор.

Список литературы:

1. СП 32-102-95. Сооружения мостовых переходов и подтопляемых насыпей. Методы расчёта местных размывов. — Система нормативных документов в строительстве. — Введён в действие Корпорацией «Трансстрой» 22 декабря 1995 года. — Дата введения: 1 апреля 1996 года.
2. Государственный гидрологический институт (Санкт-Петербург). Труды Государственного гидрологического института. Русловые процессы рек/ Под ред. Б.Ф. Сنيщенко. — СПб. : Гидрометеиздат, 2002. — 248 с.: ил. : 20см. — (Труды Государственного гидрологического института / Федерал. Служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды).
3. Отчет о научно — исследовательской работе «Проведение исследований по обеспечению габаритов пути с гарантированной глубиной не менее 2 метров на участке реки Белая от устья реки Уфа — Груздевка». Москва 2019г
4. Основы теории подобия : конспект лекций / Владим. гос. ун-т ; сост. К. И. Зуев. — Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. — 51 с.

