

УДК 627.132

DOI: 10.37890/jwt.v79.484

Исследование влияния направления водного потока и конфигураций опор моста на местный размыв дна реки

Е.М. Куприна

ORCID: 0009-0004-1476-8886

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Анализ влияния мостовых переходов базируется на расчетных исследованиях местного размыва на участке реки Белая в створе улицы Воровского город Уфа за 2021 год, где на данный момент планируется ввод в эксплуатацию новый мостовой переход. В виду сложности процесса взаимодействия турбулентного потока с геометрической конструкцией опор. За основной критерии анализа принимается форма и ширина мостовых опор, а также направление потока по отношению к опоре мостового перехода. Полученные результаты показали возможные изменения глубины местного размыва на подходах к мосту. С целью упрощения расчета и для поиска наибольших критерий, влияющих на результивный показатель местного размыв, в работе произведен факторный анализ полученных значений.

Ключевые слова: конфигураций опор, местный размыв, река Белая турбулентный поток, отрывные течения, коэффициент косины, факторный анализ, коэффициент корреляции.

Investigation of the influence of bridge support configurations on local bottom erosion when changing the flow direction on the approach to the bridge crossing structures

Ekaterina M. Kuprina

ORCID: 0009-0004-1476-8886

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The analysis of the impact of bridge crossings is based on calculated studies of local erosion on the Belaya River section in the alignment of Vorovsky Street in Ufa in 2021, where a new bridge crossing is currently planned to be commissioned. Due to the complexity of the process of interaction of the turbulent flow with the geometric design of the supports. The main criteria of the analysis are the shape and width of the bridge supports, as well as the direction of flow relative to the bridge support. The results showed possible changes in the depth of local erosion at the approaches to the bridge. In order to simplify the calculation and to find the greatest criteria affecting the effective indicator of local erosion, a factor analysis of the obtained values was performed in the work.

Keywords: support configurations, local erosion, Belaya River turbulent flow, breakaway currents, cosine coefficient, factor analysis, correlation coefficient.

Введение

Река Белая является составной частью водного пути Уфа-Москва, по которому производятся грузоперевозки и организуются туристические рейсы. Однако река по своим габаритам является не стабильной. О чем ранее упоминалась в публикациях [1,6].

Согласно данным, технических отчетов Бельского РВПиС, проектный уровень воды по г/п Уфа ежегодно понижается. До 2007 г. отметка проектного уровня

составляла (-70 см) над нулем графика, в период с 2008 г. по 2020 г. (-80 см) и с 2021 г. уже (-100 см).

Кроме того, происходит тенденция спада обеспеченности проектного уровня за физическую навигацию (Рис.1).

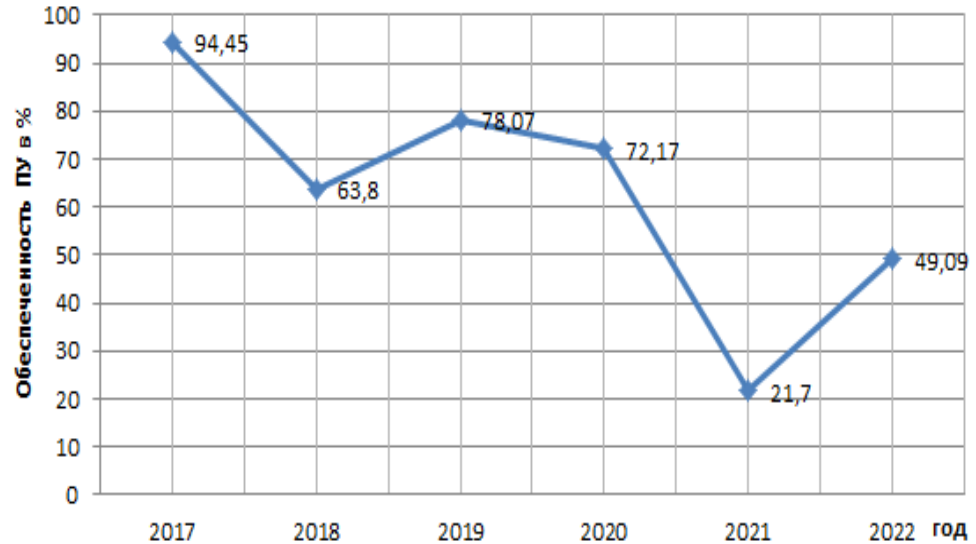


Рис.1. Динамика изменения обеспеченности ПУ за физическую навигацию в период с 2014 по 2022 гг. по гидропостам Охлебинино и Уфа

Основная причина таких изменений - посадка уровней воды в ходе инженерной деятельности, проводимой на водных объектах в прежние годы, (в первую очередь, массовой разработки карьеров НСМ), а также результатом утраты остаточного эффекта систематического дноуглубления

Таким образом, учитывая существующую негативную русловую тенденцию, возведении нового мостового перехода, в створе улицы Воровского в городе Уфа (Рис 2), может вызвать еще большую посадку уровня воды. Так как показывает практика, в следствии стеснения руслового потока, мостовыми опорами и подходами, вероятно возникновение общего размыва в пределах мостового перехода под мостом и на участке выше, и ниже по течению. [2,7,11,14].

В работе приводится исследование влияния конфигурации опор моста и направления водного потока на местный размыв дна на реке Белая.

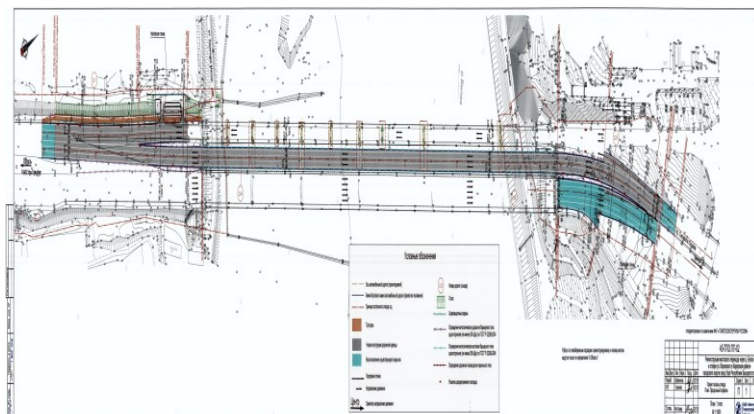


Рис.2. План Бельского моста

В настоящей статье анализ влияния мостовых переходов базируется на расчетных исследованиях только местного размыва. Это продиктовано тем, что русло реки Белая преимущественно сложено из крупного гравия, который мало подвержен общему размыву. А за основной критерии анализа принимается геометрия мостовых опор (форма, ширина) и направление потока. Что также обуславливается сложностью процесса взаимодействия турбулентного потока с геометрической конструкцией опор.

Исследование влияния конфигураций опор моста на местный размыв дна при изменении ширины опоры и направления потока на подходе к сооружениям мостового перехода

Глубина местного размыва рассчитывается на основании промерных изысканий, с учетом типа поперечного сечения промежуточной опоры и скоростного режима русла [2, 8, 9,10,12,14].

Для мостовых опор с простой геометрической конфигурацией, расчет местного размыва вводится по формуле [7]:

$$t = 1,1T^{0,4}B^{0,6} \left(\frac{V}{V_B}\right)^n k_{\phi}^{оп} k_{\alpha} \tag{1}$$

где

- T - глубина у опоры, м;
- B - ширина опоры, м;
- V - средняя скорость течения, м/с;
- V_B - средняя взмучивающая скорость турбулентного потока перед опорой, м/с;
- $k_{\phi}^{оп}$ - коэффициент формы опоры;
- k_{α} - коэффициент косины потока по отношению к опоре моста.

На первом этапе анализ вводится для промежуточной опоры моста с постоянной шириной $B=3$ м и длиной $L=12$ м. Геометрические конфигурации опоры различны.

Результаты исследования приведены в таблице 1 и на рис.3.

Таблица 1

Анализ изменения глубины местного размыва при различных формах опор

С полуциркульными торцами (овальная)	Круглая	Прямоугольная	Квадратная	Заостренная при θ (угол заострения опоры):			
				$\theta = 120^\circ$	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 30^\circ$
							
1,124	1,322	1,639	1,930	1,613	1,322	0,965	0,780

Результаты расчета промежуточных опор показали, что наибольшая глубина местного размыва t наблюдается у опор квадратной и прямоугольной формы. Этот факт объясняется тем, что данные опоры обладают наибольшей шириной препятствия потоку. Такие опоры являются плохообтекаемыми и обладают наибольшим турбулентным обменом, энергия которого, вследствие, будет затрачена на создание обильных отрывных течений и размыв дна. Для опор с хорошо обтекаемой формой (овальная, круглая, заостренная), максимальная глубина местного размыва меньше и возникает не на границе основания опоры, а n -ом расстоянии от нее, так как размывтый грунт оседает за опорой.

Независимо от формы опоры, общий механизм размыва всегда одинаковый и состоит из двух стадий [13]:

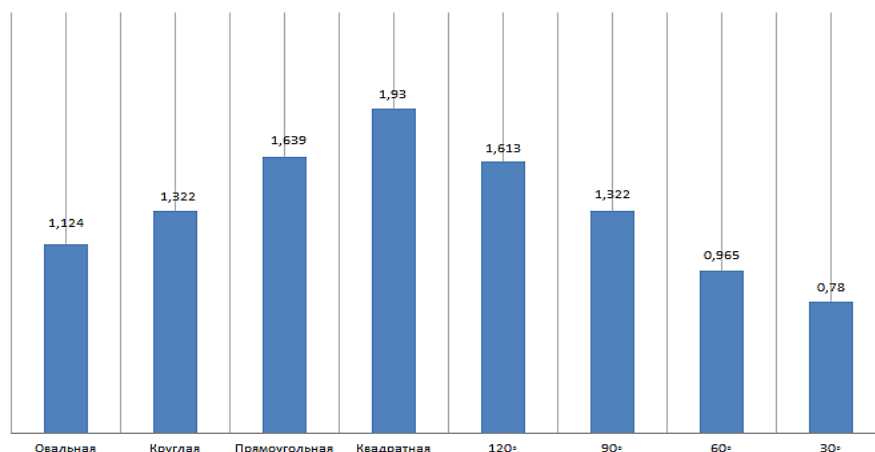


Рис.3. Диаграмма изменения местного размыва при различных формах опор

Стадия 1. Возникновение на боковых стенках двумерных отрывных течений.

Поток, обтекая препятствия и попадая в сжатую среду, начинает отрываться от своей поверхности и искажаться по областям (OX и OY), образуя криволинейные формы. Это объясняется тем, что кинетической энергии потока, не хватает энергии на преодолении зоны повышенного давления и поток начинает отрываться от своей траектории.

Стадия 2. Возникновение на лобовой части трехмерного отрывного потока.

По физическому смыслу, трехмерный о поток схож с двумерным, но он протекает в областях OX, OY и OZ (Рис 4). Течение в районе опоры имеют разнонаправленную пространственную структуру. Кроме того, в отличие от двумерных отрывных течений в турбулентный обмене задействует три водных слоя (O3T, O6T и O8T). Программный комплекс показал, что в результате отрывных течений происходит перекося водной поверхности. Водный поток, переходя в зону повышенного давления, начинает искажаться. Поднявшиеся отрывные течения, образовали выпор водной поверхности (начальный подпор), а ушедшие вниз поток образовал донный валец. По мере протекания турбулентного обмена, транзитный скорости понизят свои значения, а образовавшийся искаженный (спиралевидный) поток размывает дно. [11].

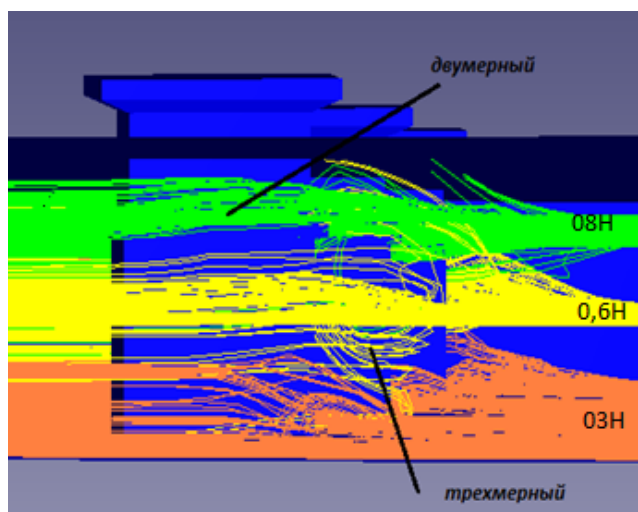


Рис. 4. Упрощенная модель поведения течений при взаимодействии с мостовыми опорами

На втором этапе была проведена серия расчетов с изменением ширины опоры мостового перехода (В), поскольку ширина опоры напрямую влияет на глубину и местного размыва.

По результатам расчетных данных (Таблица 2 и Рис.5) были выявлена закономерность местного размыва от ширины и формы опоры.

Таблица 2

Анализ изменения глубины местного размыва при различной ширине опоры

Форма опор мостового перехода	Глубина местного размыва t при ширине опоры:			
	Ширина мостовой опоры, В			
	3м	6м	9м	12м
С полуциркульными торцами (овальная)	1,124	1,703	2,172	2,581
Круглая	1,322	2,003	2,555	3,037
Прямоугольная	1,639	2,484	3,169	3,765
Квадратная	1,93	2,925	3,731	4,434
Заостренная при θ (угол заострения опоры):				
$\theta = 120^\circ$	1,613	2,444	3,117	3,705
$\theta = 90^\circ$	1,322	2,003	2,555	3,037
$\theta = 60^\circ$	0,965	1,463	1,865	2,217
$\theta = 30^\circ$	0,78	1,182	1,508	1,792

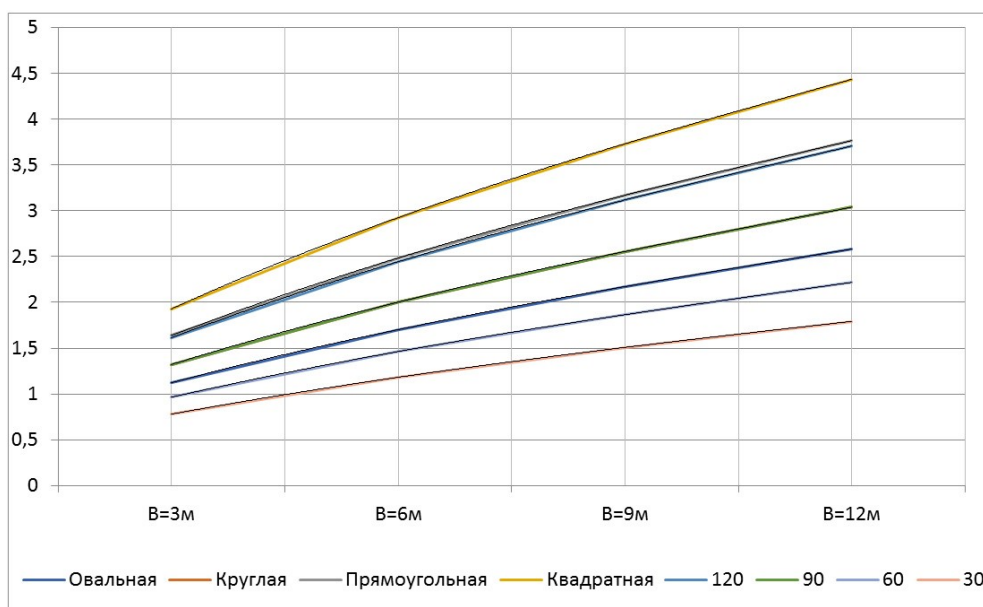


Рис.5. Кривые изменяя местного размыва при различной ширине опор

Результаты расчета показали, что с увеличением параметра «В», происходит увеличение местного размыва в 1,2-1,5 раза. Это факт объясним тем, что с ростом «В», происходит уменьшению площади свободной части русла ($\omega_{св}$) и увеличение коэффициента сжатия β , что прямо пропорционален давлению жидкости в жатом участке (формула 2).

$$P = \rho g \beta H_0 \tag{2}$$

где

- ρ - плотность воды, кг/м³
- g - ускорение свободного падения, м/с²;
- H_0 - напор на сооружения, м;
- H_0 - площадь поперечного сечения русла в створе мостового перехода, м/с;
- $\beta = \frac{\omega}{\omega_{св}}$ - коэффициент сжатия русла опорами моста.

Для понимания физического смысла, влияние давление жидкости на скоростную размывающую способность русла, берется уравнение Бернулли в двух сечениях[3]:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{aV_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{aV_2^2}{2g} + h_w \quad (3)$$

где

- z - геометрический напор, м;
- $\frac{P}{\gamma}$ - пьезометрический напор, м;
- $\frac{aV_1^2}{2g}$ - динамический (статический напор), м;
- h_w - потери напора, м;

Согласно уравнению 3, скорость потока прямо пропорциональна полному напору на сооружение.

Таким образом, при увеличении ширины опоры B , напор и давление на сооружение начинает возрастать. По мере роста давления P , полученные значения достигают критического значения P_k , после которого поток не сможет преодолеть зону повышенного давления и начинает отрываться от своей траектории. При дальнейшем росте давления ($P \geq P_k$) искаженный отрывом поток размывает дно, вызывая местные деформации у опор моста. И чем выше будет давление, тем глубже будет местный размыв.

Третьим рассматриваемым критерием является коэффициент косины потока (k_α), так он влияет на величину местного размыва, в соответствии с формулой 1.

Под коэффициентом косины понимается угол между осью набегания потока воды (вектором скорости \vec{V}) и осью опоры, определяемый по выражению (4).

$$k_\alpha = 1 + \left| 1.22 - \frac{1.12}{\sqrt{\left(\frac{T}{B} + 0.75\right)^3}} \right| \cdot f \quad (4)$$

где

- T - глубина у опоры, м;
- B - ширина опоры, м;
- F - безразмерный коэффициент, зависящий от значений L, B и α .

Коэффициент косины зависит от направления потока, соотношения длины и ширины (L/B) опоры мостового сооружения. Но не зависит от сложности конфигураций мостовых опор (количества элементов опоры моста, наличия гасительных элементов и т.д).

Действием косина потока можно пренебречь лишь в том случае, когда угол набегания потока, по отношению к опоре, будет равен или меньше 10° ($\alpha \leq 10^\circ$). В таком случае k_α принимают за 1.

Схема набегания потока на опору моста представлена на рис.6

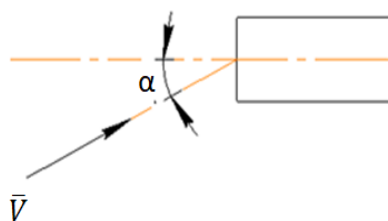


Рис 6. Схема набегания потока на опору моста

Для анализа влияния коэффициента косины на местный размыв в створе мостового перехода, была проведена серия расчетов с изменением угла набегания α с шагом в 20° , по результатам которых динамика развития метного размыва (Таблица 3 и Рис.7).

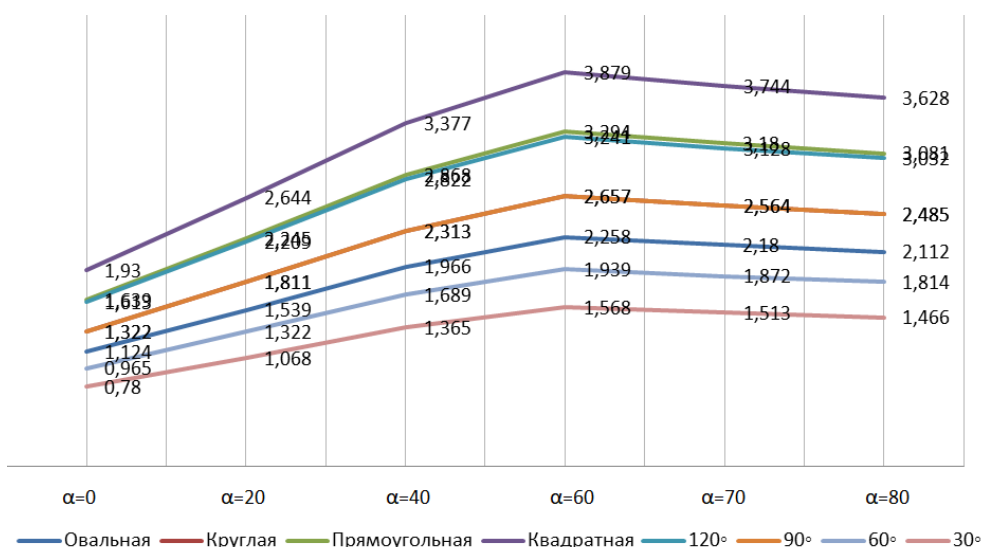


Рис.7. Кривые изменяя местного размыва при изменении коэффициента косины

Таблица 3

Анализ изменения глубины размыва у опор моста при изменении направления потока на подходе к сооружениям мостового перехода

Форма опор мостового перехода	Глубина местного размыва t при направлении потока α°					
	При $\alpha = 0$	При $\alpha = 20$	При $\alpha = 40$	При $\alpha = 60$	При $\alpha = 70$	При $\alpha = 80$
	$k_\alpha = 1$	$k_\alpha = 1,37$	$k_\alpha = 1,75$	$k_\alpha = 2,01$	$k_\alpha = 1,94$	$k_\alpha = 1,88$
С полуциркульными торцами (овальная)	1,124	1,539	1,966	2,258	2,180	2,112
Круглая	1,322	1,811	2,313	2,657	2,564	2,485
Прямоугольная	1,639	2,245	2,868	3,294	3,180	3,081
Квадратная	1,930	2,644	3,377	3,879	3,744	3,628
Заостренная при θ (угол заострения опоры):	1,613	2,209	2,822	3,241	3,128	3,032

Форма опор мостового перехода	Глубина местного размыва t при направлении потока α°					
	При $\alpha = 0$	При $\alpha = 20$	При $\alpha = 40$	При $\alpha = 60$	При $\alpha = 70$	При $\alpha = 80$
	$k_\alpha=1$	$k_\alpha = 1,37$	$k_\alpha = 1,75$	$k_\alpha = 2,01$	$k_\alpha = 1,94$	$k_\alpha = 1,88$
$\theta = 120^\circ$						
$\theta = 90^\circ$	1,322	1,811	2,313	2,657	2,564	2,485
$\theta = 60^\circ$	0,965	1,322	1,689	1,939	1,872	1,814
$\theta = 30^\circ$	0,780	1,068	1,365	1,568	1,513	1,466

Исходя из полученных результатов расчета, можно сделать следующий вывод. Начиная от направления потока при $\alpha=0^\circ$ и заканчивая до $\alpha=60^\circ$, происходит геометрическая прогрессия кривой местного размыва, с небольшим изломом при 40° . При достижении 60° начинается постепенный спад. Этот эффект объясним тем, что с увеличением угла набега (при $\alpha > 60^\circ$) площадь взаимодействия сжатого потока с опорой уменьшается, что в дальнейшем приводит к падению отрывных скоростей и турбулентности.

Однако, при достижении $\alpha \geq 90^\circ$, утверждение о регрессии с ростом угла α может быть опровергнуто, поскольку в таком варианте расстановки, опору моста нужно считать перевернутой (В/Л). Следовательно, для дальнейшего анализа, возникает необходимость в уточнении коэффициентов k_α и f .

Факторный анализ полученных значений местного размыва

для упрощения расчета и для поиска наибольших критериев, влияющих на результативный показатель местного размыва у опор моста t , произведён факторный анализ полученных значений [5].

Факторный анализ – это многомерный метод, который позволяет проследить взаимосвязь между переменными факторами В, k_α и Ф (Ф-форма опоры) и свести к меньшему количеству переменных влияющих на результирующий показатель местного размыва t .

Идея анализа предполагает, что с уменьшением количества известных переменных, уменьшается вероятность влияния на результат случайных ошибок и неизвестных переменных.

В данной статье под случайными ошибками понимается человеческий фактор (ошибки, возникшие в ходе проведения промерных работ и расчета), а под неизвестными элементами – изменяющиеся со временем вторичные факторы (конфигурация русла, изменение уровня воды за сутки и т.д.).

В анализе главными факторами является: ширина опоры В, косина потока k_α и форма опоры Ф. В качестве результирующего показателя принят местный размыв t .

Конечное уравнение будет иметь вид:

$$\begin{pmatrix} \Phi_{11} & B_{11} & k_{a11} \\ \Phi_{21} & B_{21} & k_{a21} \\ \dots & \dots & \dots \\ \Phi_{i,j} & B_{i,j} & k_{ai,j} \end{pmatrix} \begin{matrix} t_1 \\ t_2 \\ \dots \\ t_i \end{matrix} \quad (5)$$

г Ф-форма опоры (овальная, круглая прямоугольная, квадратная, де заостренная);

В – ширина опоры моста, В=(3, 6,9,12)м;

k_α -коэффициент косины потока по отношению к опоре моста, $k_\alpha = (1; 1.37; 1.75; 2,01; 1,94; 1.88)$;

t – местный размыв у опоры моста, м.

Трудоемкостью решения уравнения 5 заключается в множественном расчете изменяющихся факторов. Для данного анализа было выполнено 192 расчета, по результату которых, были найдены коэффициенты корреляции r (таблица 4).

Таблица 4

Результаты корреляции

	Коэффициент корреляции r			
	t	Φ	B	$k\alpha$
t	-	0,632	0,675	0,493
Φ	-	-	0,008	0,032
B	-	-	-	-0,168
k	-	-	-	-

По результатам линейной корреляционной зависимости получен, что наибольшим фактором влияющим на результирующий показатель t , является ширина и форма мостовой опоры.

Для оценки тесноты связи, полученных корреляционных значений, используется шкала тесноты Чаддока (таблица 5) [4].

Таблица 5

Шкала тесноты связи по шкале Чаддока

Диапазон значений r	Линейная корреляционная зависимость
0-01	Практически отсутствует
0,1-0,3	Слабая
0,3-0,5	Умеренная
0,5-0,7	Заметная
0,7-0,9	Сильная
0,9-0,99	Очень сильная
0,99-1	Практически функциональная

Полученные значения коэффициентов Φ , B и $k\alpha$ находятся в прямой связи с результирующей t и могут оказывать «заметное» и «умеренное» влияние на результаты расчета.

При анализе взаимодействия факторов друг на друга, результаты корреляции лежит в диапазоне от 0 до 0,1, что говорит об отсутствии связи между факторами. Следовательно, данными связями можно пренебречь.

Заключение

Выполненный анализ расчетов показал, что глубина местного размыва t на прямую зависит от конфигураций опоры, её ширины и угла наката воды на опору моста. Однако исходя из результатов факторно –корреляционного анализа было выявлено, что наибольшую роль на итоговый результат местного размыва влияет ширина опоры.

Согласно аналитическому расчету, наибольшим деформациям подвергнется русло, с мостовыми опорами квадратной формы, с максимальной шириной погружной части 12м и более. При этом поток по отношению к опоре должен быть направлен под углом 60°.

Наименьшим деформациям будет подвержено русло с мостовыми опорами заостренными под углом 30°. Ширина погружной части, при этом, должна быть равна или находится в ближайшем диапазоне к 3м. Угол набегания потока отсутствует.

Список литературы

1. Агеева В.В., Люкина Е.А., Матюгин М.А. Оценка воздействия разработки карьера на гидрологию участка реки и условия судоходства.//Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – URL: http://вф-река-море.рф/2022/6_1.pdf (дата обращения 16.06.2023)
2. Андреев О.В. Проектирование мостовых переходов - до в. М. : Транспорт, 1980.
3. Качанов, И.В. Механика жидкости и газа: курс лекций: в 4 ч. / И.В. Качанов, В.В. Кулебякин, В.К. Недбалский. – Минск: БНТУ, 2012. – Ч. 3. – 56 с.
4. Кибякова С.И., Тищенко В.П., Исаев С.П., Белозеров И. Л. Основы научных исследований. Применение методов корреляционного анализа при обработке результатов эксперимента. Статистические исследования зависимостей: методические указания по выполнению лабораторных работ № 1-2 для студентов специальности 250303.65 «Технология деревообработки» всех форм обучения / сост. С. И. Кибякова, В. П. Тищенко, С. П. Исаев, И. Л. Белозеров. - Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2008. - 47 с.
5. Макаров, Р. И. Методы анализа данных : учеб. пособие /Р. И. Макаров, Е. Р. Хорошева ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2021 – 216 с. ISBN 978-5-9984-1399-5
6. Матюгин М.А., Решетников М.А. Определение положения кривой свободной поверхности на казанцевском перекатном участке реки белой. //Транспорт. Горизонты развития. 2023: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2023. – URL: http://вф-река-море.рф/2023/5_7.pdf
7. Михалев М.А., Алибеков А.К.-Выбор оптимального типа опоры и оценка величины местного размыва//Природ обустройство -2011 -1997-6011
8. Журавлев М.М. Местный размыв у опор мостов. М. : Транспорт, 1984.
9. Журавлев М.М. Расчет местного размыва у опор сложной формы. - Автомобильные дороги, 1985, № 4.
10. Кнороз В.С. Неразмывающие (предельные) ско - роста разноразмерных по крупности материалов. - Изв.ВПИИГ, т.71, 1962.
11. Куприна Е.М., Воронина Ю.Е. - Влияние конфигураций опор на возникновение неправильных течений Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022.
12. Пичугов Г.С. Влияние формы фундамента мосто - вых опор на местный размыв. - Труды Гипродорнии, вып.31 .М.,1980.
13. Вальгер С.А., Федорова Н.Н., Федоров. А.В. Структура турбулентного отрывного течения в окрестности установленной на пластине призмы с квадратным сечением.// Теплофизика и аэромеханика, 2015, том 22, № 1
14. Ярославцев И,А. Расчет местного размыва у мостовых опор. ЦПИИС. Сообщение № 80. М., 1956.

References

1. Ageeva V.V., Liukina E.A., Matyugin M.A. Assessment of the impact of quarry development on the hydrology of the river section and navigation conditions.//Transport. Horizons of development. 2022: Proceedings of the International Scientific and Practical Forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2022. – URL: http://вф-река-море .RF/2022/6_1.pdf (accessed 06/16/2023)
2. Andreev O.V. Design of bridge crossings - before V. M.: Transport, 1980.
3. Kachanov, I.V. Mechanics of liquid and gas: a course of lectures: at 4 o'clock / I.V. Kachanov, V.V. Kulebyakin, V.K. Nedbalsky. – Minsk: BNTU, 2012. – Part 3. – 56 p.
4. Kibyakova S.I., Tishchenko V.P., Isaev S.P., Belozеров I. L. Fundamentals of scientific research. The use of correlation analysis methods in the processing of experimental results. Statistical studies of addictions: methodological guidelines for laboratory work No. 1-2 for students of specialty 250303.65 "Woodworking technology" of all forms of education / comp. S. I. Kibyakova, V. P. Tishchenko, S. P. Isaev, I. L. Belozеров. Khabarovsk : Publishing House of the Pacific State University, 2008. - 47 p.

5. Makarov, R. I. Methods of data analysis : textbook. manual /R. I. Makarov, E. R. Khorosheva ; Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov. – Vladimir : Publishing House of the All-Russian State University, 2021–216 p.ISBN 978-5-9984-1399-5
6. Matyugin M.A., Reshetnikov M.A. Determination of the position of the free surface curve on the Kazantsev rolling section of the Belaya river.//Transport. Horizons of development. 2023: Proceedings of the International Scientific and Practical Forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2023. – URL: http://вф-река-море .RF/2023/5_7.pdf
7. Mikhalev M.A., Alibekov A.K.-Choosing the optimal type of support and estimating the magnitude of local erosion//Nature improvement -2011 -1997-6011
8. Zhuravlev M.M. Local erosion at the bridge supports. M. : Transport, 1984.
9. Zhuravlev M.M . Calculation of local erosion at supports of complex shape. - Highways, 1985, No. 4.
10. Knorosis In .C . Non-eroding (marginal) the growth of materials of different grain sizes. - Izv.VPIG, vol. 71, 1962.
11. Kuprina E.M., Voronina Y.E. - The influence of support configurations on the occurrence of irregular currents Materials of the international scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2022.
12. Pichugov G.S. The influence of the shape of the foundation of bridge supports on local erosion. - Proceedings of the Giprodornia, issue 31.M., 1980.
13. Valger S.A., Fedorova N.N., Fedorov A.V. The structure of a turbulent separation flow in the vicinity of a square-section prism mounted on a plate.// Thermophysics and Aeromechanics, 2015, volume 22, No. 1
14. Yaroslavtsev I.,A. Calculation of local erosion at bridge supports. CPIIS. Message No. 80. M., 1956.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Куприна Екатерина Максимовна, аспирант кафедры «Водных путей и гидротехнических сооружений», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: k_kuprina98@mail.ru

Ekaterina M. Kuprina, Postgraduate student of the Department of Waterways and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport (VSUVT), 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: k_kuprina98@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.03.2024; опубликована онлайн 20.06.2024.
Received 11.03.2024; published online 20.06.2024.