

УДК 556.537

ЭМПИРИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ШЕРОХОВАТОСТИ РУСЛА РЕКИ КРАСНОЙ ОТ ЧИСЕЛ ФРУДА

В.А. Наумов

EMPIRICAL DEPENDENCE OF THE ROUGHNESS COEFFICIENT OF THE RED RIVER BED FROM FROUDE NUMBERS

V.A. Naumov

Аннотация. По данным наблюдений на реке Красной, опубликованным в Гидрологических ежегодниках, рассчитаны значения коэффициента шероховатости русла n в формуле Шези. Исследовано влияние безразмерных комплексов (Fr , Re , I , $b = B/H$) на величину n . Найдена эмпирическая зависимость $n(Fr)$ с высоким индексом детерминации 0,959. Наибольшие значения чисел Фруда наблюдались во время половодья. Величина n стремится к значению 0,034 с увеличением Fr . В межень она возрастает до 0,064.

Ключевые слова: река Красная; гидрометрические наблюдения; формула Шези; коэффициент шероховатости; число Фруда; эмпирическая формула.

Abstract. Values of the roughness coefficients in the Shesi's formula are calculated according to the observations of the Red river bed published in Hydrological yearbooks. The influence of dimensionless complexes (Fr , Re , I , $b = B/H$) on the value of n was studied. An empirical dependence of $n(Fr)$ with a high determination index of 0.959 was found. The highest values of Froude numbers were observed during the flood. The value of n tends to a value of 0.034 with increasing Fr . In low water it increases to 0.064.

Keywords: Red river; hydrometric monitoring; Shesi's formula; roughness coefficient; Froude number; the empirical formula.

Введение

При обработке результатов инженерно-гидрологических изысканий для строительства [1, 2], а также при разработке нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты [3] требуется определять среднюю скорость течения водотока V . В соответствии с нормативными документами, расчет выполняют в предположении равномерного течения по формуле Шези:

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot I}, \quad (1)$$

где I – уклон водной поверхности; R – гидравлический радиус; C – коэффициент Шези.

По действующим нормативным документам [3, 4] коэффициент Шези при средней глубине водотока до 5 м следует вычислять по формуле Н.Н. Павловского

$$C = R^y / n; \quad y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1), \quad (2)$$

где n – коэффициент шероховатости русла, величину которого нужно выбирать по описательным характеристикам расчетного участка, приведенным в таблицах.

Большинство исследований по рассматриваемой проблеме выполнено для больших и средних рек [5, 6] или для каналов с известным поперечным профилем [7, 8]. Тогда как наибольшая неопределенность возникает при изучении малых рек и ручьев [9-12]. В [13-15] был предложен метод расчета величины n малых водотоков по данным, опубликованным в Гидрологических ежегодниках гидрометрических наблюдений. Как и в [5], коэффициент

корреляции между n и средней глубиной водотока H на реке Злой (село Приозерье) оказался очень высоким, равным 0,898. Было получено уравнение линейной регрессии [15]:

$$n = 0,0157 + 0,0389 \cdot H. \quad (3)$$

Согласно (3) в исследованном створе реки Злой коэффициент шероховатости русла снижается с увеличением средней глубины.

Зависимость коэффициента шероховатости русла от H в створах притоков реки Преголи оказалась слабой [13, 14]. Но была установлена тесная стохастическая связь со средней скоростью; уравнение регрессии:

$$n = a_0 + a_1 \cdot \exp(-a_2 \cdot V), \quad (4)$$

где a_0 , a_1 , a_2 – эмпирические коэффициенты. Согласно (4) с увеличением V коэффициент шероховатости русла притоков Преголи снижается.

В последние годы опубликованы исследования зависимости коэффициента шероховатости русла водотоков от безразмерных комплексов. Например, в [16] использованы числа Фруда Fr и Рейнольдса Re , уклон водной поверхности I , и отношение $b = B/H$, где B – ширина водотока.

Цель данной статьи – исследовать влияние безразмерных комплексов на коэффициент шероховатости русла реки Красной.

Исходные данные

Река Красная относится к малым рекам, имеет длину 83 км, площадь водосборного бассейна – 548 км² [17]. Исток реки находится на Вармийско-Мазурской возвышенности в Польше. Река протекает по двум районам Калининградской области и у города Гусева впадает в реку Писсу. Гидропост на реке Красной у деревни Токаревка был открыт 01.07.1961 и работал до середины 80-х годов прошлого века. К сожалению, можно использовать не все результаты измерений за указанные годы, а лишь те, которые содержали важные для данного исследования уклоны водной поверхности. В качестве базового был принят массив данных 1962 года [18], который содержит наибольшее количество таких измерений. В табл. 1 представлены результаты измерений 1962 года: Q – расход воды, ω – площадь живого сечения, V – средняя скорость, V_m – максимальная скорость, B – ширина реки, H – средняя глубина, H_m – максимальная глубина, I – уклон водной поверхности.

Таблица 1 – Измеренные и рассчитанные характеристики реки Красной (деревня Токаревка, 1962, состояние русла – свободное)

№ пп	Q	Ω	V	V_m	B	H	H_m	I	Fr	b	$10^{-6} \cdot Re$
	м ³ /с	м ²	м/с	м/с	м	М	м	‰	-	-	
1	2,19	5,16	0,42	0,60	11,8	0,44	0,65	1,8	0,041	26,8	0,185
2	2,21	4,91	0,45	0,62	11,5	0,43	0,62	1,8	0,048	26,7	0,194
3	4,36	7,48	0,58	0,86	11,9	0,63	0,81	1,7	0,054	18,9	0,365
4	9,90	11,6	0,85	1,32	12,8	0,91	1,17	1,4	0,081	14,1	0,773
5	16,7	15,1	1,11	1,52	13,5	1,12	1,48	1,3	0,112	12,1	1,243
6	37,7	24,1	1,56	2,26	21,4	1,13	1,92	2,3	0,220	18,9	1,763
7	38,2	24,3	1,57	2,39	22,4	1,08	1,93	2,5	0,233	20,7	1,696
8	28,1	19,9	1,41	2,09	18,3	1,09	1,76	2,0	0,186	16,8	1,537
9	23,2	17,4	1,33	1,92	14,6	1,19	1,59	1,7	0,152	12,3	1,583
10	17,8	16,2	1,10	1,71	13,9	1,17	1,41	1,7	0,106	11,9	1,287
11	14,0	13,1	1,07	1,49	13,3	0,98	1,25	1,5	0,119	13,5	1,049

12	10,7	11	0,97	1,44	12,7	0,87	1,12	1,8	0,110	14,6	0,844
13	7,70	9,57	0,80	1,12	12,2	0,78	0,95	1,3	0,084	15,6	0,624
14	4,06	6,83	0,59	0,85	12	0,57	0,78	1,6	0,062	21,1	0,336
15	2,65	5,63	0,47	0,69	11,6	0,49	0,67	1,8	0,046	23,7	0,230
16	4,20	6,82	0,62	0,86	12,1	0,56	0,75	1,5	0,070	21,6	0,347
17	6,15	8,45	0,73	1,03	12,2	0,69	0,90	1,5	0,079	17,7	0,504
18	5,3	8,0	0,66	0,98	12,4	0,65	0,87	1,6	0,068	19,1	0,429
19	2,47	5,41	0,46	0,67	11,7	0,46	0,64	2,1	0,047	25,4	0,212
20	1,72	4,63	0,37	0,57	11,6	0,4	0,59	2,2	0,035	29,0	0,148
21	1,73	4,88	0,35	0,56	11,7	0,42	0,60	2,2	0,030	27,9	0,147
22	1,49	4,44	0,34	0,53	11,6	0,38	0,58	2,2	0,031	30,5	0,129
23	1,39	4,25	0,33	0,49	11,4	0,37	0,54	2,4	0,030	30,8	0,122
24	1,49	4,62	0,32	0,46	11,6	0,4	0,59	2,2	0,026	29,0	0,128
25	1,50	4,76	0,32	0,53	11,6	0,41	0,60	2,2	0,025	28,3	0,131
26	1,51	4,74	0,32	0,52	11,5	0,41	0,60	2,2	0,025	28,0	0,131
27	1,93	5,19	0,37	0,59	11,7	0,44	0,62	1,8	0,032	26,6	0,163
28	1,70	4,89	0,35	0,56	11,7	0,42	0,60	1,8	0,030	27,9	0,147
29	1,53	4,69	0,33	0,52	11,6	0,4	0,57	2,2	0,028	29,0	0,132
30	1,68	4,77	0,35	0,55	11,8	0,4	0,57	2,1	0,031	29,5	0,140
31	3,21	6,36	0,50	0,75	12,0	0,53	0,73	1,9	0,048	22,6	0,265
32	2,57	5,70	0,45	0,68	11,9	0,48	0,68	1,8	0,043	24,8	0,216
33	1,91	5,12	0,37	0,62	11,9	0,43	0,60	2,0	0,032	27,7	0,159
34	1,73	4,96	0,35	0,54	11,6	0,43	0,59	2,1	0,029	27,0	0,150
35	1,81	5,11	0,35	0,56	11,9	0,43	0,61	2,5	0,029	27,7	0,150
36	1,51	4,81	0,31	0,53	11,8	0,41	0,60	2,1	0,024	28,8	0,127
37	2,42	5,91	0,41	0,67	12,0	0,49	0,70	1,9	0,035	24,5	0,201
38	3,19	6,24	0,51	0,73	12,0	0,52	0,70	1,9	0,051	23,1	0,265
39	2,6	6,03	0,43	0,65	12,0	0,5	0,68	1,9	0,038	24,0	0,215
40	2,6	5,85	0,44	0,66	12,0	0,49	0,68	1,8	0,040	24,5	0,216
41	2,56	5,70	0,45	0,69	12,0	0,48	0,68	1,8	0,043	25,0	0,216

Расчет коэффициента шероховатости русла и безразмерных комплексов

Так как что заранее неизвестно, можно ли приближенно принять гидравлический радиус равным средней глубине малой реки, вначале, как в [15], была исследована стохастическая связь ширины реки Красной и ее наибольшей глубины (рис. 1). Методом наименьших квадратов была получено уравнение регрессии:

$$B = \varphi(H_m) = 12,49 - 8,32 \cdot H_m + 20,35 \cdot H_m^2 - 17,84 \cdot H_m^3 + 5,65 \cdot H_m^4, \quad (5)$$

Интегрируя (5), получим зависимость площади живого сечения ω и смоченного периметра χ от наибольшей глубины водотока:

$$\omega(H_m) = \int_0^{H_m} \varphi(h) dh, \quad \chi(H_m) = \int_0^{H_m} \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dt} \varphi(h)\right)^2} dh. \quad (6)$$

На рис. 2 видно, что результаты расчета площади живого сечения хорошо согласуются с данными наблюдений.

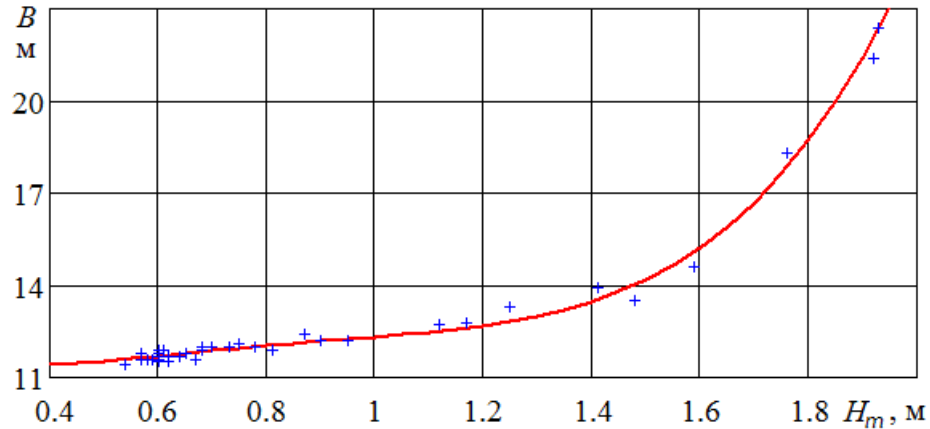


Рисунок 1 – Зависимость ширины реки Красной (деревня Токаревка, 1962) от наибольшей глубины. Точки – данные наблюдений (табл. 1), линия – расчет по формуле (4)

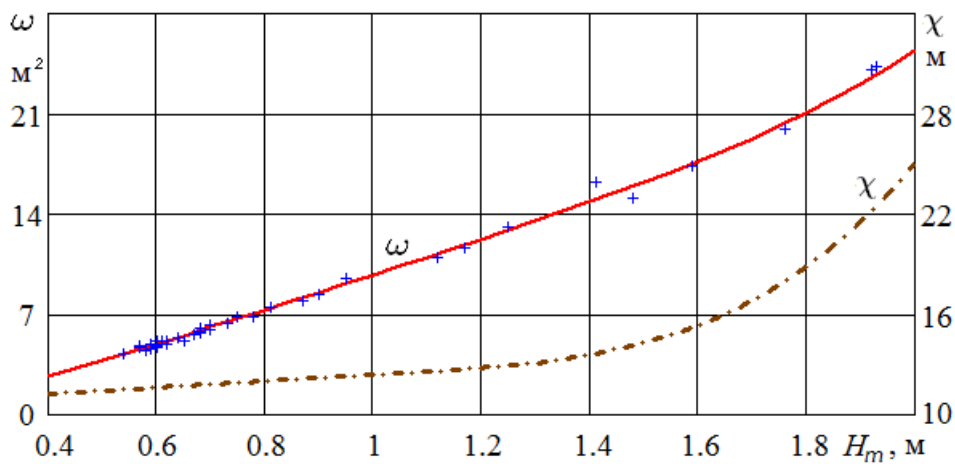


Рисунок 2 – Зависимость площади живого сечения и смоченного периметра реки Красной (деревня Токаревка, 1962) от наибольшей глубины. Точки – данные наблюдений площади, линии – расчет по формулам (6)

Далее находим гидравлический радиус $R(h) = \omega(h) / \chi(h)$ и сравниваем его со средней глубиной водотока. По рис. 3 отличие не превышает 7%, поэтому в расчетах параметров русла в исследуемом створе реки Красной можно принять $R \approx H$.

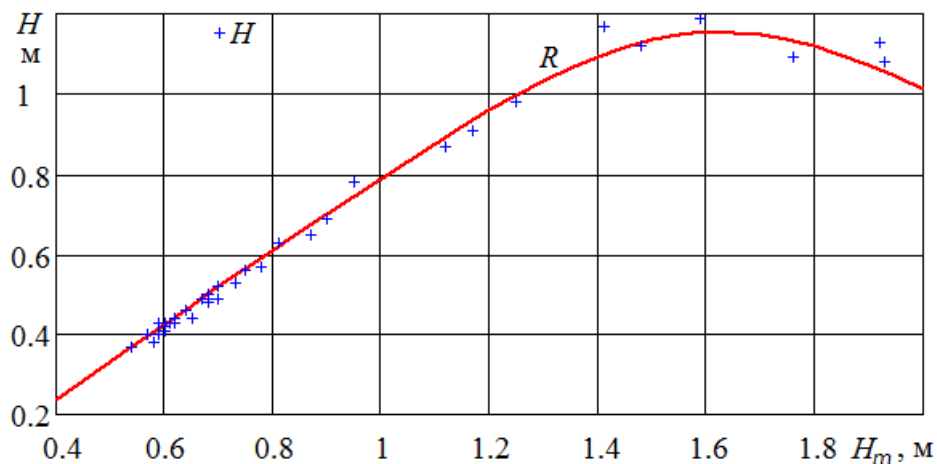


Рисунок 3 – Сравнение рассчитанных значений гидравлического радиуса (линия) с данными наблюдений средней глубины (точки)

Для определения коэффициента шероховатости русла прологарифмируем (2)

$$\left(2,5\sqrt{n_i} - 0,13 - 0,75\sqrt{H_i}(\sqrt{n_i} - 0,1)\right) \cdot \ln H_i - \ln n_i = \ln V_i - 0,5(\ln H_i + \ln I_i) . \quad (7)$$

В уравнение (7) подставляем измеренные значения средней скорости, средней глубины и уклона (не в промиле!) из табл. 1. Единственную неизвестную величину n_i находим, решая (7) численным методом в среде Mathcad.

Числа Фруда и Рейнольдса рассчитываем по формулам (8) и заносим в табл. 1

$$Fr_i = \frac{V_i^2}{g \cdot H_i}, \quad Re_i = \frac{V_i \cdot H_i}{\nu} , \quad (8)$$

где g – ускорение свободного падения, ν – коэффициент кинематической вязкости воды.

На рис. 4-5 показана зависимость коэффициента шероховатости русла реки Красной от безразмерных комплексов.

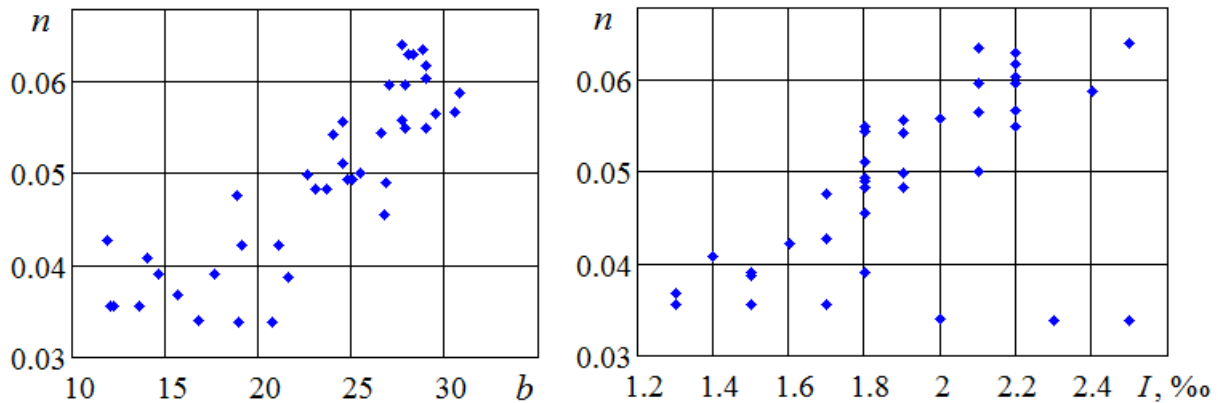


Рис. 4. Зависимость коэффициента шероховатости русла реки Красной от отношения ширины к средней глубине и от уклона водной поверхности

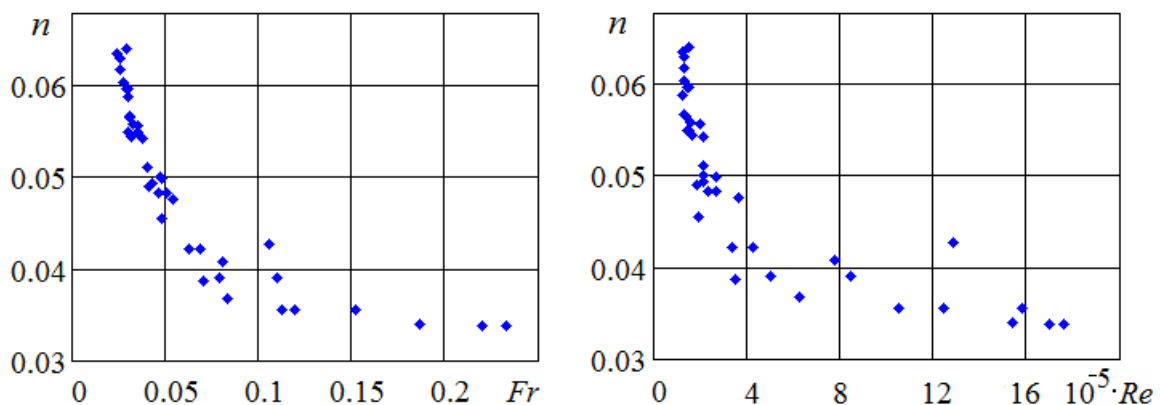


Рис. 5. Зависимость коэффициента шероховатости русла реки Красной от чисел Фруда и Рейнольдса

Статистический анализ

Для анализа влияния различных факторов на коэффициент шероховатости русла реки Красной рассчитаем точечные оценки коэффициентов парной корреляции (табл. 2). Первая строка показывает большое значение коэффициента корреляции с числами Фруда, Рейнольдса и b . Коэффициент корреляции n с I ниже уровня значимости ($r = 0,7$), далее этой связью пренебрегаем.

Таблица 2 – Матрица парной корреляции

Комплексы	n	Fr	Re	I	b
n	1	-0,860	-0,800	0,583	0,821
Fr		1	0,965	-0,085	-0,692
Re			1	-0,168	-0,780
I				1	0,671
b					1

Как известно, коэффициент парной корреляции показывает близость стохастической связи к линейной функциональной. Нелинейную связь оценим по рис. 3-4. Видно, что она теснее (меньше рассеивание точек) у зависимостей $n(Fr)$ и $n(Re)$, чем $n(b)$. Обращаем внимание, что между числами Фруда и Рейнольдса $r = 0,965$. Связь между ними близка к линейной функциональной. Значит, из этих двух комплексов можно оставить один. Проверим, какой из двух комплексов позволит получить эмпирическую зависимость, лучше согласующуюся с данными наблюдений.

По виду зависимостей на рис. 5 будем искать уравнения регрессии $Fr-n$ и $Re-n$ в таком виде:

$$n = n_0 + \alpha_1 \cdot \exp(-\beta_1 \cdot Fr), \quad (9)$$

$$n = n_0 + \alpha_2 \cdot \exp(-\beta_2 \cdot Re), \quad (10)$$

Коэффициенты (9), (10), найденные методом наименьших квадратов: $n_0 = 0,034$; $\alpha_1 = 0,0545$; $\beta_1 = 2,909$; $\alpha_2 = 0,0558$; $\beta_2 = 5,71 \cdot 10^{-6}$. Проверим, насколько эмпирические зависимости (9), (10), представленные на рис. 6-7, соответствуют значениям n , рассчитанным по табл. 1. Индекс детерминации зависимости (9) равен 0,959. Это означает, что 95,9% изменений коэффициента шероховатости русла реки Красной объясняются вариацией числа Фруда и только 4,1% – другими факторами. У зависимости (10) индекс детерминации заметно ниже – 0,874. Поэтому для использования в расчетах следует рекомендовать формулу (9).

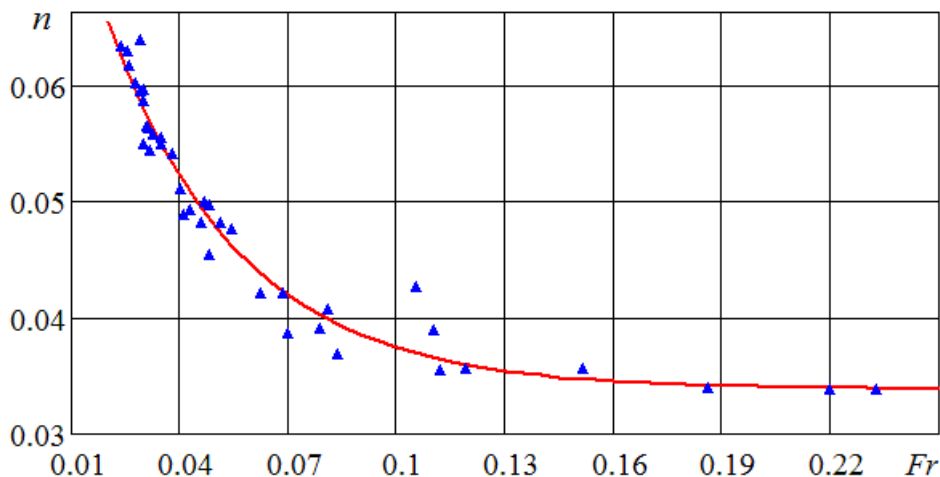


Рис. 6. Зависимость коэффициента шероховатости русла реки Красной Токаревка от числа Фруда. Точки – по данным наблюдений [18], линия – расчет по формуле (9)

Заметим, что наибольшие значения чисел Фруда наблюдались во время половодья. С увеличением Fr $n \rightarrow n_0 = 0,034$. В межень коэффициент шероховатости русла реки Красной возрастает до 0,064.

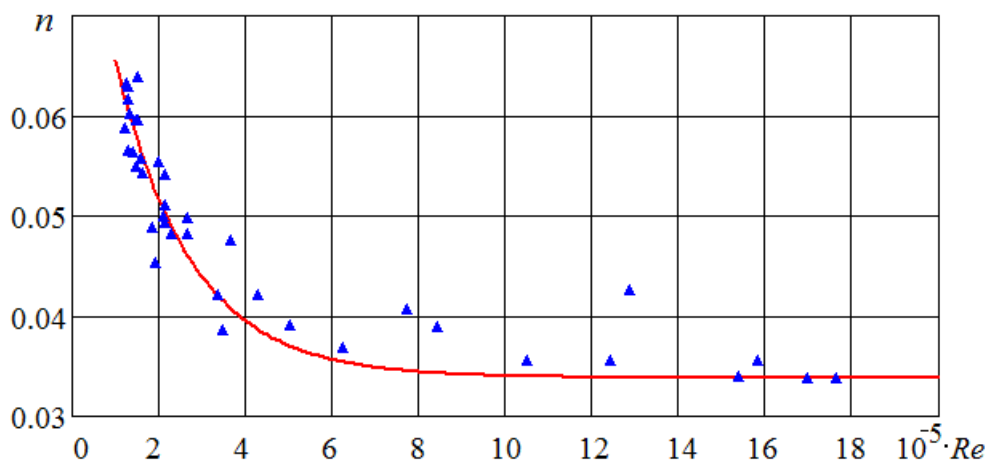


Рис. 7. Зависимость коэффициента шероховатости русла реки Красной Токаревка от числа Рейнольдса. Точки – по данным наблюдений [18], линия – расчет по формуле (10)

Заключение

По данным наблюдений на реке Красной (деревня Токаревка), опубликованным в Гидрологических ежегодниках, рассчитаны значения коэффициента шероховатости русла в формуле Шези. Исследовано влияние безразмерных комплексов (Fr , Re , I , $b = B/H$) на величину n . Найдена эмпирическая зависимость $n(Fr)$ с высоким индексом детерминации 0,959. Наибольшие значения чисел Фруда наблюдались во время половодья. С увеличением чисел Fr коэффициент шероховатости русла в исследованном створе стремится к значению 0,034. В межень он возрастает до 0,064.

Для выявления региональных зависимостей, используемых при отсутствии систематических наблюдений, необходимы дальнейшие исследования гидрологических характеристик малых рек.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания НИОКР 2018 года по теме: «Разработка базы данных, алгоритма и методики расчета гидрологических характеристик малых рек рыбохозяйственного значения при отсутствии систематических наблюдений».

ЛИТЕРАТУРА

1. Свод правил СП 11-103-97. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. Одобрен Департаментом развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России № 9-1-1/69 от 10.07.97.
2. Свод правил СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Утвержден приказом Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (Госстрой России) от 10 декабря 2012 г., № 83/ГС и введен в действие с 1 июля 2013 г.
3. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Утверждена Приказом Минприроды России от 17.12.2007 № 333 (в ред. Приказа Минприроды России от 29.07.2014 № 339).
4. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Одобрен для применения в качестве нормативного документа постановлением Госстроя России № 218 от 26 декабря 2003 г.
5. Барышников Н.Б. Гидравлические сопротивления речных русел: учебное пособие. СПб: Изд-во РГГМУ, 2003. 147 с.

6. Писарев А.В., Храпов С.С., Агофонникова Е.О., Хоперсков А.В. Численная модель динамики поверхностных вод в русле Волги: оценка коэффициента шероховатости // Вестник Удмуртского университета, 2013. № 1. С. 114-130.
7. Щедрин В.Н., Вайнберг М.В., Чураев А.А. Совершенствование способов определения расхода воды в открытых мелиоративных каналах // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 2016. № 1 (21). С. 1-20.
8. Орлов В.А., Зоткин С.П., Орлов Е.В. и др. Разработка методики и автоматизированной программы определения коэффициента Шези С и относительной шероховатости n для исследований безнапорных трубопроводов // Вестник МГСУ, 2012. № 3. С. 205-210.
9. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Великанова М.Н. Расчет распространения загрязнения в р. Товарная // Вода: химия и экология, 2011. № 8. С. 89-94.
10. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Маркова Л.В., Смирнова Л.В. Результаты натурных исследований малых водотоков на мелиорированных землях региона // Вода: химия, экология. 2013. № 7. С. 18-26.
11. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Примак Л.В. Осаждение частиц взвесей в воде // Механизация строительства. 2013. № 7 (829). С. 44-48.
12. Ахмедова Н.Р., Великанов Н.Л., Наумов В.А. Оценка качества воды малых водотоков Калининградской области // Вода: химия и экология, 2015. № 10. С. 19-24.
13. Наумов В.А. Расчет коэффициента шероховатости русла реки Анграпы по данным наблюдений // V Международный Балтийский морской форум (21-27 мая 2017 г.). Материалы конференции. Калининград: Изд-во БГАРФ, 2017. С. 719-724.
14. Наумов В.А. Коэффициент шероховатости русла реки Писсы // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал, 2017. Т. 3, № 3. С. 1-7. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/09/2017-N3-Naumov.pdf>.
15. Наумов В.А. Зависимость коэффициента шероховатости русла малой реки Злой от глубины // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал, 2018. – Т. 4, № 1. – С. 79-87. – URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2018/01/2018-N1-Naumov.pdf>.
16. Dash S.S., Khatua K.K., Mohanty P.K. Factors influencing the prediction of resistance in meandering channel. International Journal of Scientific and Engineering Research, 2013. V. 4, No. 5, pp. 63-66.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 4. Прибалтийский район. Вып. 3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР / Под ред. М. В. Силича. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 171 с.
18. Гидрологический ежегодник 1962 г. Бассейн Балтийского моря / Под ред. Л.М. Жвирздинене. Вып. 5,6. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 224 с.

REFERENCES

1. *Svod pravil SP 11-103-97. Inzhenerno-gidrometeorologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva* [Set of rules SR 11-103-97. Engineering and hydrometeorological surveys for construction]. Odobren Departamentom razvitiya nauchno-tehnicheskoy politiki i proektno-izyskatel'skikh rabot Gosstroya Rossii № 9-1-1/69 ot 10.07.97.
2. *Svod pravil SP 47.13330.2012. Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva* [Set of rules SR 47.13330.2012. Engineering surveys for construction]. Utverzhden prikazom Federal'nogo agentstva po stroitel'stvu i zhilishchno-kommunal'nomu khozyaystvu (Gosstroy Rossii) ot 10 dekabrya 2012 g., № 83/GS i vveden v deystvie s 1 iyulya 2013 g.
3. *Metodika razrabotki normativov dopustimyykh sbrosov veshchestv i mikroorganizmov v vodnye ob"ekty dlya vodopol'zovateley* [Methods of development of standards of permissible discharges of substances and microorganisms in water bodies for water users]. Utverzhdena



Prikazom Minprirody Rossii ot 17.12.2007 № 333 (v red. Prikaza Minprirody Rossii ot 29.07.2014 № 339).

4. *Svod pravil SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Set of rules SR 33-101-2003. Determination of basic design hydrological characteristics]. Odobren dlya primeneniya v kachestve normativnogo dokumenta postanovleniem Gosstroya Rossii № 218 ot 26 dekabrya 2003 g.

5. Baryshnikov N.B. *Gidravlicheskie soprotivleniya rechnyh rusel: uchebnoe posobie* [Hydraulic resistance of river channels: a tutorial]. SPb: RGGMU Publ., 2003. 147 p.

6. Pisarev A.V., Khrapov S.S., Agofonnikova E.O., Khoperskov A.V. *Chislennaya model' dinamiki poverkhnostnykh vod v rusle Volgi: otsenka koeffitsienta sherokhovatosti* [Numerical model of surface water dynamics in the Volga river: estimation of roughness coefficient]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, 2013. No. 1, pp. 114-130.

7. Shchedrin V.N., Vaynberg M.V., Churaev A.A. *Sovershenstvovanie sposobov opredeleniya raskhoda vody v otkrytykh meliorativnykh kanalakh* [Improving ways of determining water flow in the open drainage channels]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, 2016. No. 1 (21), pp. 1-20.

8. Orlov V. A., Zotkin S. P., Orlov E. V et al. *Razrabotka metodiki i avtomatizirovannoy programmy opredeleniya koeffitsienta Shezi C i odnositel'noy sherokhovatosti n dlya issledovaniy beznapornykh truboprovodov* [Development of methods and automated programme for determining the Chezy coefficient C and relative roughness n for studies of non-pressure pipelines]. *Vestnik MGSU*, 2012, no. 3, pp. 205-210.

9. Velikanov N.L., Naumov V.A., Velikanova M.N. *Raschet rasprostraneniya zagryazneniya v r. Tovarnaja* [Calculation of distribution of pollution in Commodity R.]. *Voda: himiya i jekologiya*. 2011. No 8, pp. 89-94.

10. Velikanov N.L., Naumov V.A., Markova L.V., Smirnova L.V. *Rezul'taty naturnykh issledovaniy malyykh vodotokov na meliorirovannykh zemljah regiona* [the Results of field studies of small waterways on reclaimed land in the region]. *Voda: himiya, jekologiya*. 2013. No 7, pp. 18-26.

11. Velikanov N.L., Naumov V.A., Primak L.V. *Osazhdenie chastic vzvesej v vode* [Deposition of suspension particles in water]. *Mehanizacija stroitel'stva*. 2013. No 7 (829), pp. 44-48.

12. Akhmedova N.R., Velikanov N.L., Naumov V.A. *Otsenka kachestva vody malyykh vodotokov Kaliningradskoy oblasti* [Assessment of water quality of small watercourses of the Kaliningrad region]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2015. No. 10, pp. 19-24.

13. Naumov V.A. *Raschet koefitsienta sherokhovatosti rusla reki Angrapy po dannym nabljudenij* [Calculation of the roughness coefficient of the Angrapa river bed according to observations]. V Mezhdunarodnyj Baltijskij morskoy forum (21-27 may 2017). Materialy konferencii. Kaliningrad: BGARF Publ., 2017, pp. 719-724.

14. Naumov V.A. *Koefitsient sherokhovatosti rusla reki Pissy* [Roughness coefficient of the Pissa river bed]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii: jelektronnyy zhurnal*, 2017. V. 3, No 3, pp. 1-7. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/09/2017-N3-Naumov.pdf>.

15. Naumov V.A. *Zavisimost' koefitsienta sherokhovatosti rusla maloy reki Zloy ot glubiny* [The dependence of the coefficient of roughness of the channel of a small Zloy river from the depths]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii: elektronnyy zhurnal*, 2018. V. 4, No. 1, pp. 79-87. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2018/01/2018-N1-Naumov.pdf>.

16. Dash S.S., Khatua K.K., Mohanty P.K. Factors influencing the prediction of resistance in meandering channel. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 2013. V. 4, No. 5, pp. 63-66.

17. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: Gidrologicheskaya izuchennost'. T. 4. Pribaltiyskiy rayon. Vyp. 3. Litovskaya SSR i Kaliningradskaya oblast' RSFSR* [Surface water resources of the USSR: a Hydrological study. Vol. 4. Baltic area. Issue. 3. The Lithuanian SSR and Kaliningrad oblast, RSFSR]. Editor M. V. Silich. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1963. 171 p.



18. *Gidrologicheskiy ezhegodnik 1962 g. Basseyn Baltiyskogo morya* [Hydrological Yearbook 1962, Baltic Sea basin]. Editor L.M. Zhvirzdinene. V. 5, 6. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1964. 224 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Наумов Владимир Аркадьевич

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов и водопользования, действительный член Российской инженерной академии, действительный член Российской академии естественных наук,

E-mail: van-old@rambler.ru

Naumov Vladimir Arkad'evich

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, Chairman of The Water Resources Department, Doctor of Technical Science, Professor, Member of Russian Engineering Academy, Member of Russian Academy of Natural Science,

E-mail: van-old@rambler.ru

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с автором статьи:
236022, Россия, Калининград, Советский пр., 1, КГТУ, ГУК, каб. 372. Наумов В.А.
8(4012)99-53-37