



УДК 556.537

## КОЭФФИЦИЕНТ ШЕРОХОВАТОСТИ РЕЧНЫХ ПЕСЧАНЫХ РУСЕЛ

А.В. Калинин

## ROUGHNESS COEFFICIENT OF SAND RIVERBEDS

A.V. Kalinin

**Аннотация.** По результатам измерений, выполненных в середине прошлого века на прямолинейных участках равнинных рек, определено среднее значение коэффициента шероховатости  $n_{cp}$  рек с песчаным руслом. Установлено, что в широких руслах коэффициент  $n$  зависит от вида микроформ, формирующихся на дне при определенных значениях числа Фруда, и не зависит от других параметров: размера реки, относительной ширины русла, медианного диаметра зерен песка ложа реки.

**Ключевые слова:** формула Шези; коэффициент шероховатости русла; равномерное движение; число Фруда; вид микроформ.

**Abstract.** Based on the results of measurements on straight sections of flat rivers performed in the middle of the last century, the average value of the roughness coefficient  $n_{cp}$  for sand-bed rivers was determined. For wide riverbed, it was stated that the coefficient  $n$  depends on the type of bed form, which are formed on the bottom at certain values of the Froude number but does not depend on other parameters: size of the river, relative width of the riverbed, the median diameter of the sand grains of the bed.

**Key words:** Chezy's formula; roughness coefficient of riverbed; uniform flow; Froude number; bed form.

### Введение

В 1785 году французский инженер Антуан Шези опубликовал формулу для определения средней скорости турбулентного равномерного движения воды на прямолинейных участках рек [1]:

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

где:  $V = Q/S$  – средняя скорость потока;  $Q$  – расход воды,  $S$  – площадь живого сечения потока,  $R_r = S/\chi$  – гидравлический радиус;  $\chi$  – смоченный периметр,  $I$  – продольный уклон поверхности воды;  $C$  – коэффициент Шези.

Формула Шези применяется и в наше время для расчета пропускной способности рек и каналов [2, 3]. Основной проблемой расчета является определение величины коэффициента Шези  $C$ , который в общем случае зависит от размера и формы русла, материала из которого оно сложено [4, 5, 6]. В реках и каналах с песчаным руслом коэффициент Шези зависит также от размера и вида донных образований [6, 7], гранулометрического состава песка, слагающего дно реки [6, 8], продольного уклона [9, 10]. В большинстве формул для определения коэффициента Шези используется коэффициент шероховатости русла  $n$ , который является постоянной интегральной характеристикой всех видов гидравлических сопротивлений. Коэффициент  $n$  определяется экспериментально и приводится в таблицах, в которых указываются основные характеристики русел (горные или равнинные реки, с поймой или без поймы, извилистые или прямые и так далее) [11]. В этих таблицах коэффициент  $n$  для равнинных рек с чистыми прямыми земляными руслами и спокойным течением воды равен 0,025 (М.Ф. Скрибный, И.Ф. Карасев) или изменяется от 0,025 до 0,060 (В.Т. Чоу, Дж. Бредли). М.Ф. Скрибный и И.Ф. Карасев не делят реки на большие и малые,

но В.Т. Чоу и Дж. Бредли считают, что в больших водотоках с шириной меженного русла более 30 м значения  $n$  должны быть несколько снижены по сравнению с малыми реками. В последних работах [12, 13] было установлено, что в малых равнинных реках с земляным руслом коэффициент шероховатости  $n$  уменьшается при увеличении средней скорости движения воды и числа Фруда ( $Fr = V^2 / gR_f$ ), становится постоянным только при сравнительно больших числах Фруда. Установлено [14], что уменьшение  $n$  при увеличении числа Фруда связано с размывом песчаных дюн на дне реки. Зависимость  $n$  и коэффициента Шези  $C$  от числа Фруда характерна для всех водотоков, протекающих в аллювиальных руслах.

В данной работе мы предприняли попытку установить параметры потока и русла, влияющие на величину коэффициента шероховатости  $n$  песчаных русел.

Для упрощения решения поставленной задачи мы ввели ряд ограничений: отсутствие антропогенного воздействия на речную систему [15]; во время измерений, движение воды в створе было турбулентным, равномерным и спокойным; исследования проведены в соответствии с постулатами Кондратьева – Попова [7]; при увеличении расхода глубина и ширина русла, число Фруда, продольный уклон водной поверхности также увеличиваются, при уменьшении расхода – уменьшаются [14]; медианный диаметр зерен песка влекомого наносов изменяется в диапазоне от 0,1 мм до 1,5 мм.

### Результаты исследования

Значения  $n$  и  $Fr$  для рек Писса и Красная приведены в работах [12, 13]. Расчет величины коэффициента шероховатости для рек США [14, 16] (рис. 1) выполнен с использованием уравнения Р. Маннинга [17]:

$$V = \frac{1}{n} R_f^{2/3} I^{1/2} \quad (2)$$

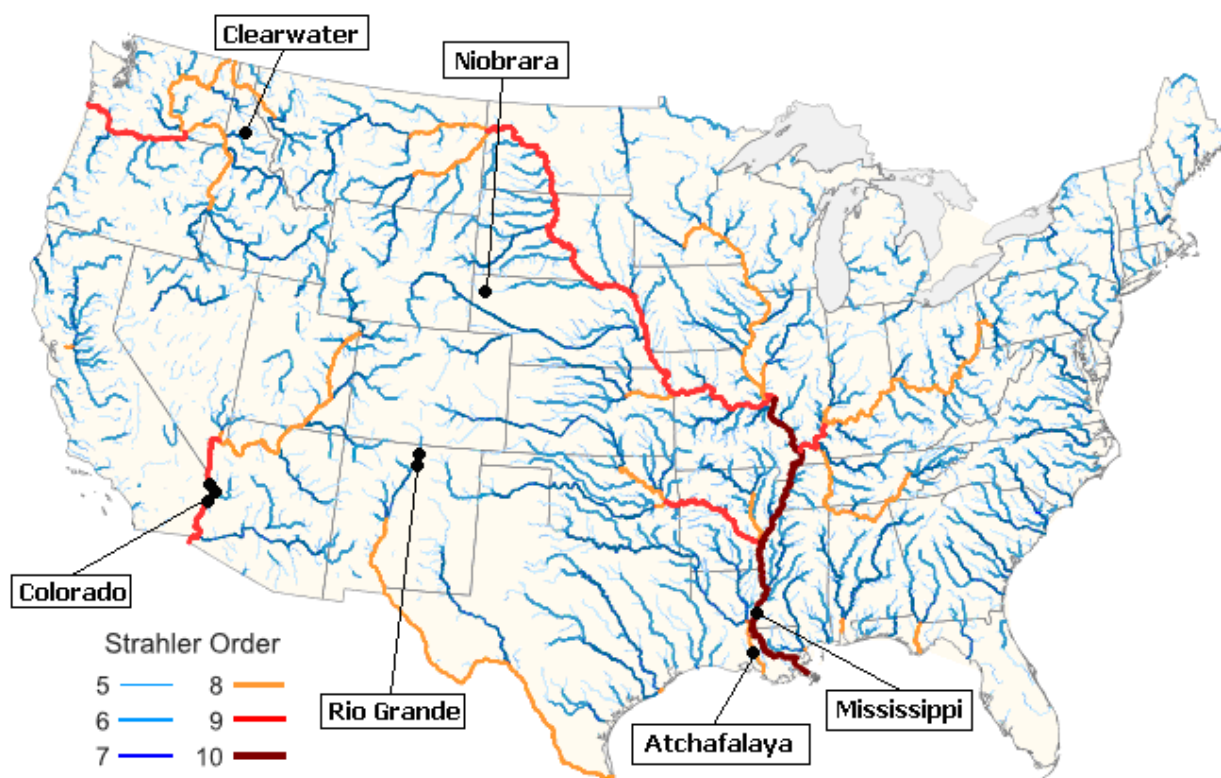


Рисунок 1 – Реки США, принятые к исследованию (точками указаны створы, в которых проводились измерения) [18]

В уравнении (2) гидравлический радиус  $R_r$  был заменен глубиной  $H$ , так как ширина реки по урезу воды  $B \gg H$ . Площадь живого сечения воды в створе  $S$  при определении средней скорости  $V$  получена интегрированием уравнения:

$$S = BH - \int_{-B/2}^{B/2} aB^n dB, \quad (3)$$

где:  $B/2$  – полуширина русла.

На рисунке 2 представлены результаты измерения глубины и полуширины русел, зависимости для интегрирования  $H = f(B/2)$ , полученные после математической обработки данных измерений [16].

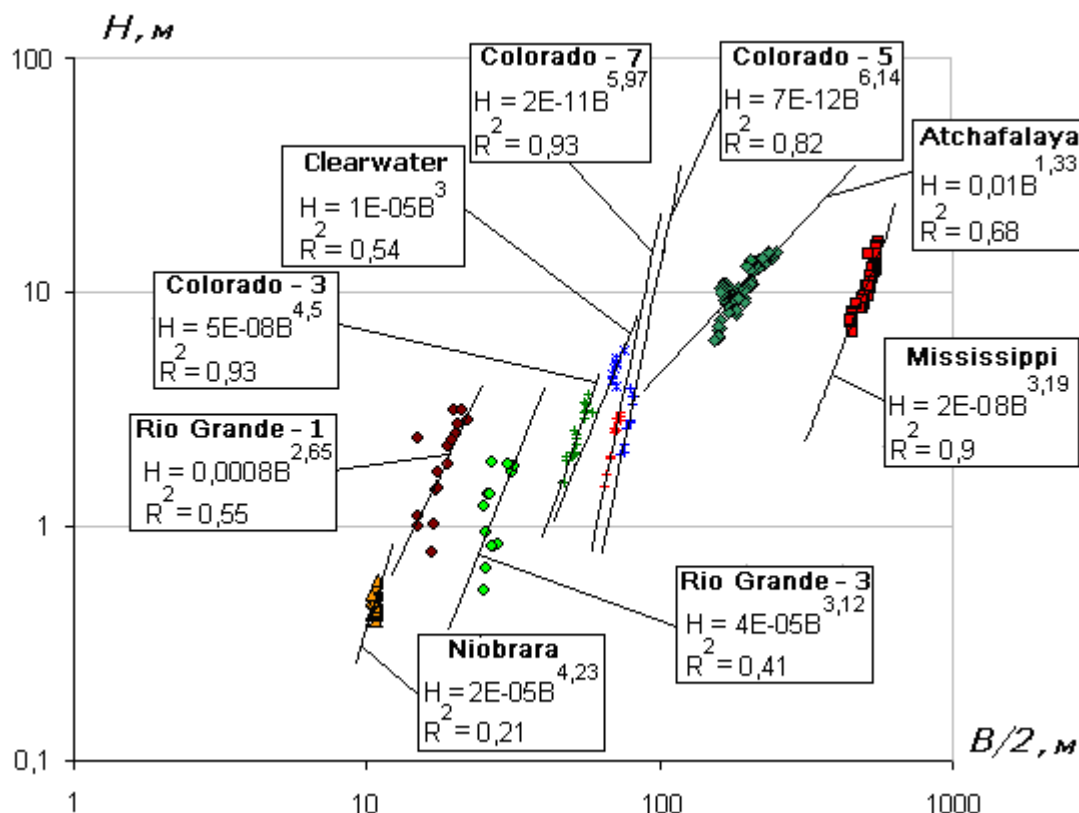


Рисунок 2 – Результаты измерения глубины  $H$  и полуширины  $B/2$  русел рек

Характеристики рек, принятых нами к исследованию, представлены в таблице 1.

Данные по реке Снейк [14, 16] не были нами использованы, т. к. мы усомнились в корректности измерений продольного уклона воды. Приведенные в [16] значения продольного уклона в этой реке больше, чем величина продольного уклона воды его притока Клируотер. Вместе с тем, продольный уклон притока, если нет подпора, всегда больше уклона воды в реке, в которую этот приток впадает [19, 20].

В данной работе мы отказались от использования результатов измерений гидравлических и морфометрических характеристик реки Красная [13], так как при увеличении расхода в меженном русле реки величина продольного уклона воды аномально уменьшается и увеличивается только при выходе воды на пойму (рис. 3). Подобное явление наблюдается и в реке Вест-Гус-Крик [14, 16], результаты измерений в которой также не были включены в наше исследование.

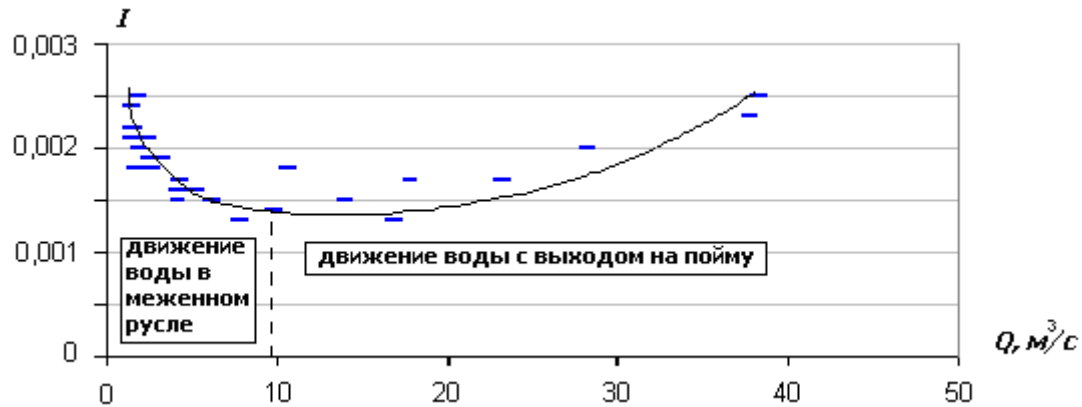


Рисунок 3 – Изменение продольного уклона реки Красная при увеличении расхода

Таблица 1 – Характеристики рек, принятых к исследованию

№ п/п	Название реки	Расход $Q$ , $м^3/с$	Ширина $B$ , $м$	Глубина $H$ , $м$	Уклон $I$	Медианный диаметр наносов $d_{50}$ , $мм$	Число Фруда $Fr$	К-во измерений
1.	Atchafalaya	637,1-14186	307,8-503,2	6,2-14,7	0,00001-0,000051	0,11-0,29	0,005-0,086	54
2.	Mississippi	4247-28825	896-1109	6,7-16,4	0,000018-0,000043	0,17 -0,35	0,0077-0,0265	52
3.	Colorado (створ 3)	109,16-389,6	95,2-114,9	1,54-3,63	0,00015-0,000407	0,26 -0,335	0,026-0,0536	13
4.	Colorado (створ 5)	161,7-454,3	146-162,4	2,02-3,89	0,00004-0,000144	0,16-0,25	0,0136-0,041	9
5.	Colorado (створ 7)	92-387,7	95,7-149,1	1,49-3,09	0,00006-0,0002	0,23-0,4	0,0222-0,0523	10
6.	Clearwater	971-2254	137-145	4,02-5,67	0,00025-0,00059	0,42-0,95	0,103-0,21	10
7.	Rio Grande (створ 1)	19,37 -286	33,2-44,2	0,77-3,12	0,00077-0,00246	0,31 -1,5	0,12 -0,35	16
8.	Rio Grande (створ 3)	19,25-275,2	49,4-64	0,53-1,88	0,00091-0,00193	0,23-1,0	0,14-0,58	11
9.	Niobrara	5,9-15,1	21,0-21,6	0,42-0,59	0,00114-0,00169	0,21-0,36	0,124-0,391	40
10.	Писса	4,84-35,8	18,7-21,6	1,1-2,2	0,00084-0,0012	-	0,0067-0,0331	23

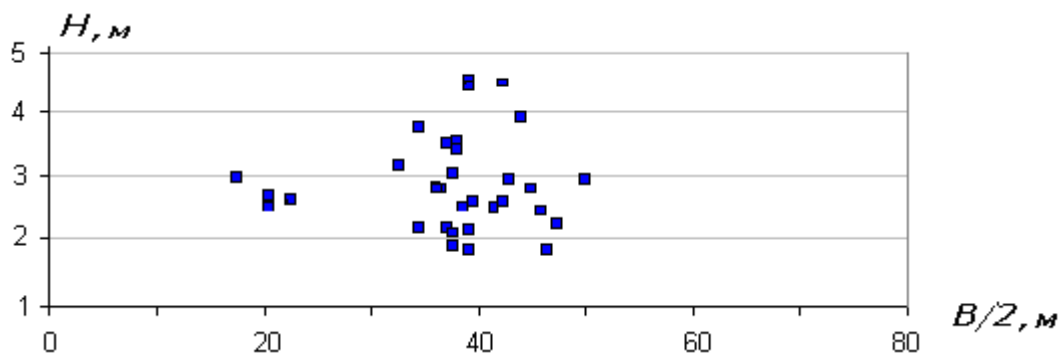


Рисунок 4 – Результаты измерений глубины и полуширины реки Магдалена

В таблицу 1 также не включены результаты измерений по реке Магдалена [14, 16] из-за неудовлетворительной точности измерений: при одних и тех же значениях ширины русла глубина воды в реке во время измерений изменялась в 2 – 3 раза (рис. 4).

Результаты расчета  $n$  по формуле (2) и числа Фруда  $Fr$  для рек таблицы 1 представлены в графической форме на рисунке 5.

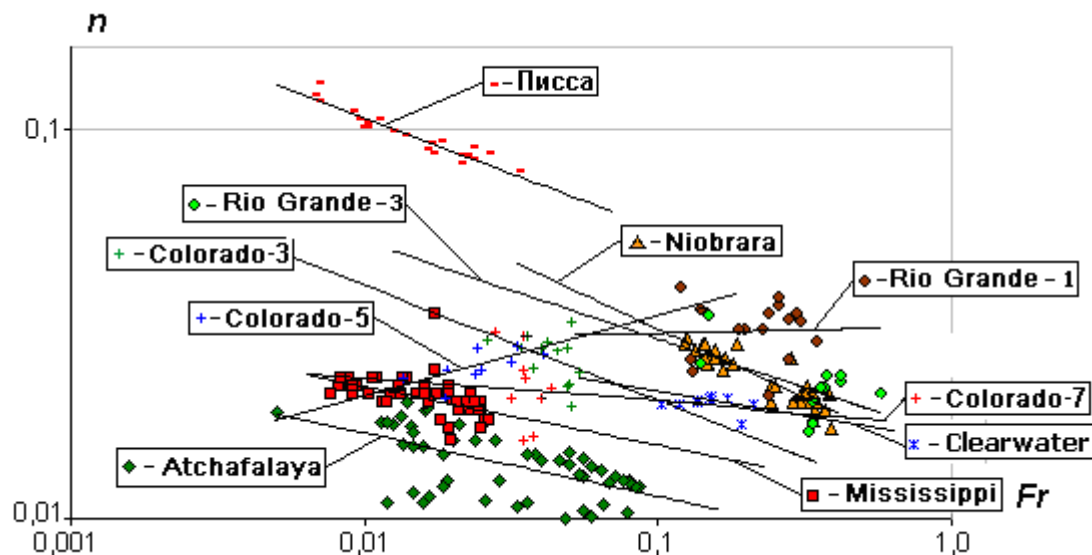


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента шероховатости  $n$  от числа Фруда  $Fr$  рек таблицы 1

Из рисунка 5 следует, что зависимость  $n = f(Fr)$  может быть представлена в следующем виде:

$$\text{а) } n = \frac{A}{Fr^a}, \text{ б) } n = BFr^b, \text{ в) } n = C \quad (4)$$

где:  $A, B, C$  – коэффициенты,  $a, b$  – показатели степени.

При увеличении числа Фруда коэффициент  $n$  увеличивается в реке Колорадо (створ 5), в реке Рио-Гранде (створ 1) – не изменяется, в остальных реках – уменьшается.

Рассмотрим влияние различных параметров потока и русла на характер изменения коэффициента шероховатости при изменении числа Фруда.

Относительная ширина русла  $B/H$  оказывает влияние на величину коэффициента  $n$  при  $B/H < 22$ . При  $B/H > 22$  коэффициент шероховатости не зависит от относительной ширины русла (см. рис. 6). В реке Атчафалая  $n$  незначительно уменьшается при увеличении  $B/H$ . Если из результатов измерений в створе 1 реки Рио-Гранде исключить результаты, полученные при  $B/H < 22$ , то на рисунке 5 мы получим убывающую функцию (уравнение 6а).

Н. Б. Барышников, не отрицая влияния геометрических параметров донных микроформ на величину гидравлического сопротивления водного потока, протекающего в размываемом русле, считает необходимым также учитывать влияние зернистой шероховатости [5, 11]. В монографии В. Броули [16] имеются сведения о медианном диаметре  $d_{50}$  зерен песка влекомых наносов. Мы полагаем, что по диаметру частиц таких наносов можно косвенно судить о величине зернистой шероховатости микроформ. К сожалению, мы не располагаем сведениями о гранулометрическом составе наносов реки Писса, поэтому на рисунке 7 представлены данные только по рекам США. Черными квадратами обозначены результаты измерений медианного диаметра наносов, соответствующие относительной ширине русла  $B/H < 22$ . Концентрация влекомых наносов

изменялась в широких пределах: от 5 мг/л (Атчафалайя) до 2340 мг/л (Найобрэра). Из рисунка следует, что зернистая шероховатость при изменении величины медианного диаметра частиц влекомых наносов в диапазоне от 0,1 до 1,5 мм не оказывает существенного влияния на увеличение коэффициента шероховатости русла  $n$ .

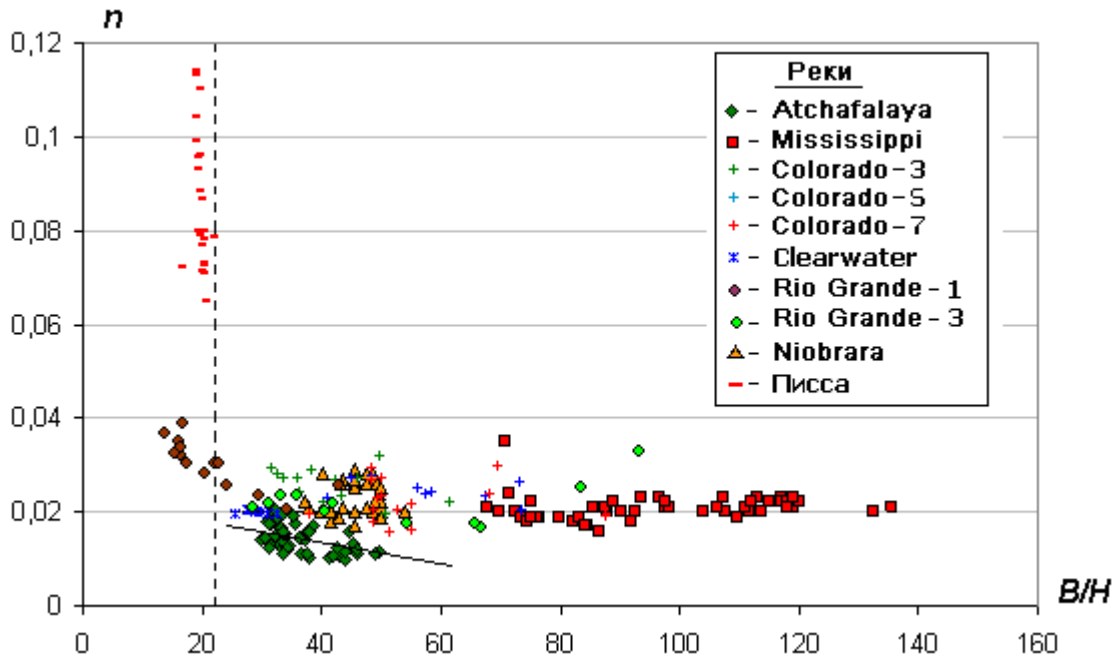


Рисунок 6 – Зависимость величины коэффициента шероховатости  $n$  от относительной ширины русла  $B/H$

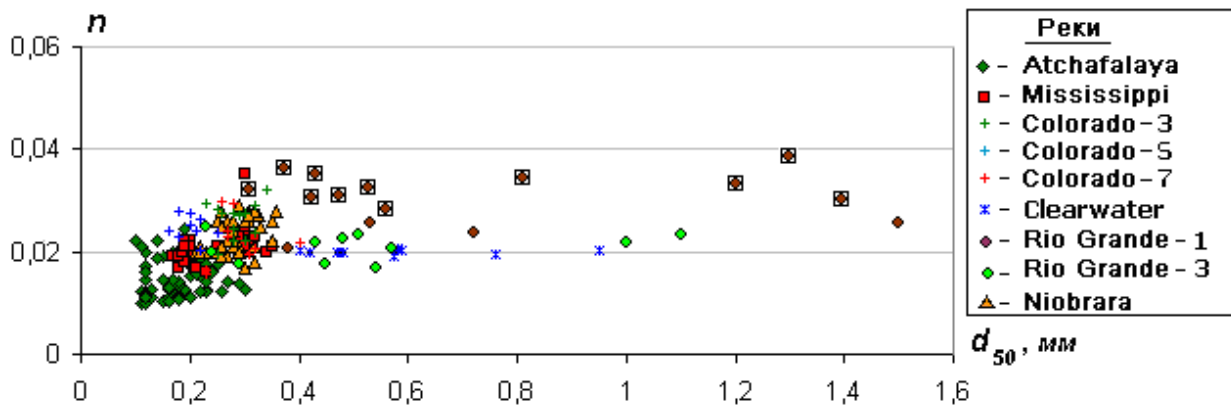


Рисунок 7 – Медианный диаметр  $d_{50}$  зерен песка влекомых наносов и коэффициент шероховатости русла  $n$

Рассмотрим влияние вида микроформ, формирующихся на дне реки, на величину  $n$ . В монографии В.Р. Броули [16] приводятся сведения о гидравлических лабораторных исследованиях с указанием вида микроформ, но в реках вид микроформ указан только в реке Найобрэра. К сожалению, большинство измерений в лотках проводились при  $B/H < 22$ , поэтому, исходя из этого критерия, нами для исследования были приняты только 8 результатов измерений. Из работы [21] для исследования были отобраны 9 измерений, выполненных при  $B/H > 22$ . На рисунке 8 представлены результаты расчета коэффициента шероховатости  $n$  и числа Фруда, указан вид микроформ в лотках и в реке Найобрэра, в таблице 2 – характеристики водного потока и лотков.



На рисунке 8 видно, что при увеличении числа Фруда последовательно происходит образование следующих видов микроформ (классификация В.Р. Броули [16]): рифели – дюны – размыв дюн – гладкая фаза.

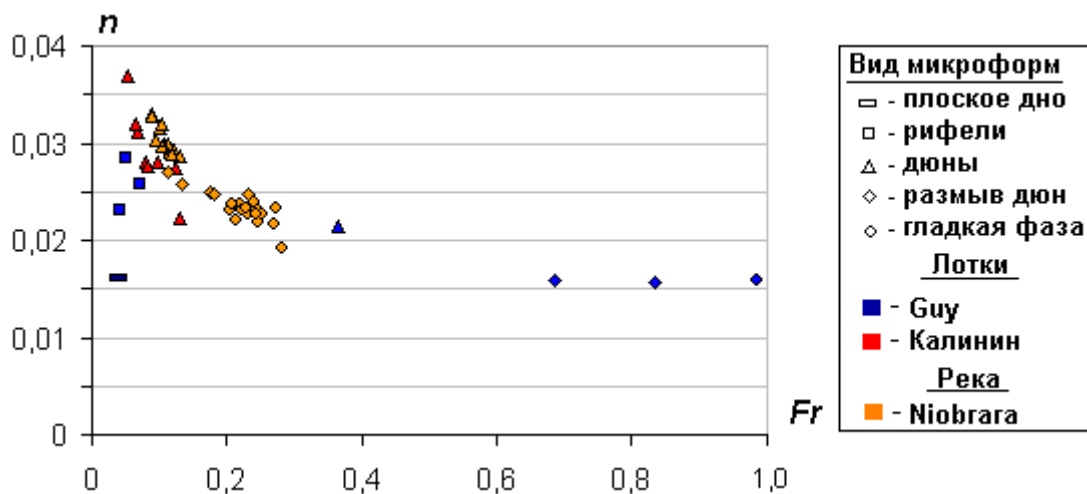


Рисунок 8 – Изменение величины коэффициента шероховатости  $n$  и вида микроформ при увеличении числа Фруда  $Fr$

Таблица 2 – Характеристики водного потока в лотках

Автор	Расход $Q$ , $м^3 / с$	Глубина $H$ , $м$	Шири на $B$ , $м$	Уклон $I$	Медианн ый диаметр песка $d_{50}$ , $мм$	Число Фруда $Fr$	К-во измер ений
Guy Н.Р. [16]	0,056- 0,223	0,058-0,1	2,44	0,00019- 0,00446	0,45-0,47	0,037- 0,985	8
Калинин А.В. [21]	0,0086- 0,0219	0,037- 0,064	1,4	0,00162- 0,00246	0,35	0,0534- 0,131	9

При минимальных значениях числа Фруда на плоском песчаном дне формируются рифели, которые изменяют свои размеры при увеличении скорости движения воды (числа Фруда) [22]. В результате происходит увеличение коэффициента шероховатости, который достигает своего максимального значения при формировании дюн. При дальнейшем увеличении скорости (числа Фруда) коэффициент  $n$  плавно снижается в результате смыва дюн и перехода в гладкую фазу, при которой дно потока становится плоским. На этом этапе коэффициент шероховатости достигает своего минимума, совпадающего со значениями  $n$ , которые были до образования рифелей. При дальнейшем увеличении числа Фруда ( $Fr > 1$ ) возможно образование стоячих волн и антидюн [16, 22]. На рисунке видно, что переход от дюн к гладкой фазе в реке Найобрэра происходит при меньших значениях числа Фруда, чем в лотке. При окончательном смыве дюн (гладкая фаза) величина коэффициента шероховатости в лотке практически не меняется. Мы полагаем, что увеличение значений коэффициента шероховатости при увеличении числа Фруда в створе 5 реки Колорадо связано с тем, что в диапазоне изменений числа Фруда (от 0,0136 до 0,041) в этом створе происходило изменение вида микроформ с рифелей на дюны.

Из рисунков 5, 6 и 7 следует, что река Атчафалая имеет аномально низкие значения коэффициента шероховатости русла. По нашему мнению, это является результатом проведенных в 19-м веке гидротехнических работ по изменению размеров русла реки,

которое стало глубже и шире. Расход и скорость течения воды в реке увеличились, а построенные в русле гидротехнические сооружения используются для регулирования расхода [23]. В связи с изложенным, река Атчафалайя не может быть нами квалифицирована как саморегулирующаяся речная система [15], поэтому результаты расчета величины коэффициента шероховатости русла этой реки в дальнейшем не были нами использованы.

Исключив из дальнейшего анализа результаты измерений в реках Писса и Рио-Гранде, в которых относительная ширина русла  $B/H < 22$ , а также в реке Атчафалайя, мы методом наименьших квадратов определили среднюю величину коэффициента шероховатости, построив график зависимости  $V = f(H^{2/3}I^{1/2})$ , предположив, что при  $H^{2/3}I^{1/2} = 0$ ,  $V = 0$  (рис. 9). Прямой сплошной линией на рисунке представлен график функции  $V = 1/0,021(H^{2/3}I^{1/2})$  м/с ( $R^2 = 0,93$ ), пунктирными линиями  $V = 1/0,021(H^{2/3}I^{1/2}) \pm 0,5$  м/с. Таким образом, среднее значение коэффициента шероховатости русел рек, принятых нами к расчету,  $n_{cp} = 0,021$  при диапазоне изменения  $n$  от 0,016 до 0,033. Необходимо отметить, что полученное нами среднее значение коэффициента шероховатости  $n_{cp}$  соответствует значениям  $n$ , рекомендуемым при проведении инженерных расчетов прямолинейных участков рек при минимальной мутности [23].

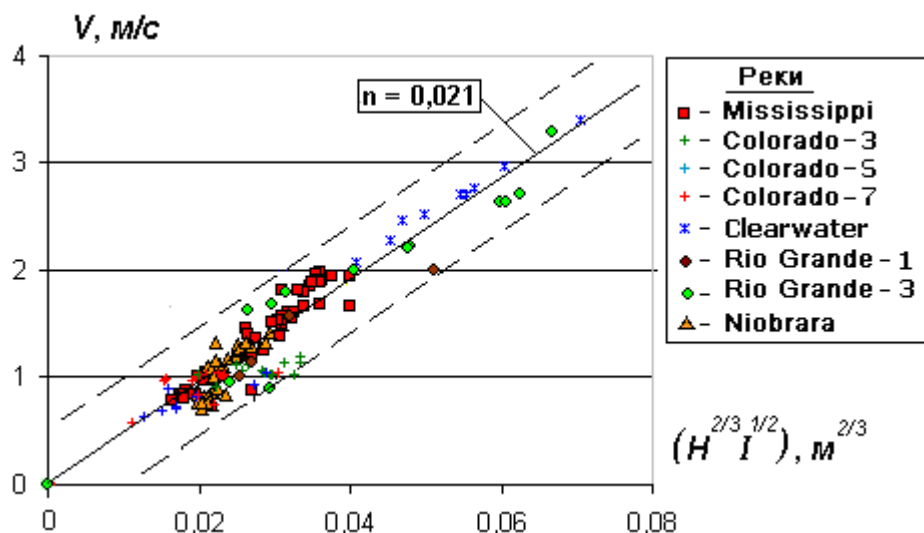


Рисунок 9 – Зависимость средней скорости  $V$  от параметра  $(H^{2/3}I^{1/2})$

### Заключение

При равномерном спокойном движении водного потока в естественном, песчаном, широком ( $B/H > 22$ ), межennom русле величина коэффициента шероховатости русла  $n$  зависит от вида микроформ, образующихся на дне реки, и может изменяться на 50 % от среднего значения равного 0,021. Для расчета коэффициента шероховатости по формуле Маннинга были использованы данные гидравлических и морфометрических измерений, выполненные в прошлом веке и опубликованные в научной литературе. Влияние размеров (порядка) реки, зернистой шероховатости донных наносов и их концентрации на величину коэффициента  $n$  не выявлено. Установлено влияние вида микроформ на величину коэффициента шероховатости песчаного русла. Изменение вида и размеров микроформ в песчаном русле связано с изменением числа Фруда. При числах Фруда, соответствующих стадии полного смыва песчаных дюн на дне реки, коэффициент шероховатости  $n$  принимает минимальные постоянные значения. Необходимо провести дополнительные исследования для определения диапазонов изменения числа Фруда, при которых  $n = f(Fr)$  и  $n = Const$ .



## ЛИТЕРАТУРА

1. 250 ans de l'École des Ponts en cent portraits / Coronio G., dir. Paris : Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 1997. 221 p.
2. СП 100.133330. 2016 Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03 – 85. Утвержден приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 16.12.2016 N 953/пр.
3. СП 46.133330. 2012 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 3.06.04 – 91. Утвержден Министерством регионального развития РФ от 29.12.2011 N 635.
4. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования, речных русел. М.: Изд. ЛКИ, 2008. 608 с.
5. Барышников Н.Б. Динамика русловых потоков. СПб.: РГГМУ, 2016. 342 с.
6. Барышников Н.Б., Пагин А.О. Гидравлическое сопротивление речных русел // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 2010. № 2. С. 90 – 93.
7. Клавен А.Б., Копалиани З.Д. Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и руслового процесса. СПб.: Нестор-История, 2011. 504 с.
8. Карасев И.Ф. Гидравлические сопротивления и системная морфометрия самоформирующихся русел рек и каналов // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена, 2007. №7(26). С. 153 – 164.
9. Колесник Э.П. Формулы для определения коэффициента Шези. Выпускная квалификационная работа. СПб.: РГГУ, 2017. 75 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/rid\\_93cd4ff39b124cb0b7fc25f8a78b02e4.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_93cd4ff39b124cb0b7fc25f8a78b02e4.pdf) (дата обращения 18.03.2020).
10. Богомолов А.В., Лепехин А.П. Оценка гидравлического сопротивления на реках Пермского края // Материалы Всероссийской конференции "Процессы самоорганизации в эрозионно-русловых системах и динамике речных долин", 3–12 июля 2012. 5 с. [Электронный ресурс] URL: <http://channel2012-ru.1gb.ru/congeo.htm>.
11. Барышников Н.Б. Гидравлические сопротивления речных русел. СПб.: РГГМУ, 2003. 147 с.
12. Наумов В.А. Коэффициент шероховатости русла реки Писсы // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал, 2017. Т. 3. № 3. С. 1 – 7. [Электронный ресурс] URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/09/2017-N3-Naumov.pdf>.
13. Наумов В.А. Эмпирическая зависимость коэффициента шероховатости русла реки Красной от чисел Фруда // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал, 2018. Т. 4. № 3. С. 89–98. [Электронный ресурс] URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2018/08/2018-N3-Naumov.pdf>.
14. Калинин А.В. Зависимость коэффициента Шези от числа Фруда. // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал, 2019. Т. 5. № 3. 38–56. [Электронный ресурс] URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2019/10/2019-N3-Kalinin.pdf>.
15. Барышников Н.Б., Самусева Е.А. Антропогенное воздействие на саморегулирующуюся систему бассейн – речной поток – русло СПб. РГГМУ. 1999. 220 с.
16. Brownlie W.R. Compilation of alluvial channel data: laboratory and field. Pasadena: California Institute of Technology, 1981. 209 p.

17. Manning R. On the flow of water in open channels and pipes // Proceedings of the Institution of Civil Engineers of Ireland, 1890. V. 20. pp. 161 – 206. [Электронный ресурс] URL: [http://digitalcollections.tcd.ie/home/index.php?DRIS\\_ID=ICEI-020\\_308](http://digitalcollections.tcd.ie/home/index.php?DRIS_ID=ICEI-020_308).
18. Pierson S.M. et al. Strahler Stream Order and Strahler Calculator Values in NHD Plus. SOSC Technical paper. September 30, 2008. 11p. [Электронный ресурс] URL: [ftp://ftp.horizon-sistems.com/NHDPlusExtantions/SOSC/SOSC\\_technical\\_paper.pdf.2008](ftp://ftp.horizon-sistems.com/NHDPlusExtantions/SOSC/SOSC_technical_paper.pdf.2008).
19. Соколов А.А. Гидрография СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1952. 545 с.
20. Богословский Б.Б., Самохин А.А., Иванов К.Е., Соколов Д.П. Общая гидрология. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 422с.
21. Калинин А.В. Влияние русловой выемки на гидравлический режим реки. Дис.... канд. техн. наук. М.: РУДН, 1987. 179 с.
22. Louisiana Old River Control Complex end Mississippi River Flood Protection. Juin 1, 2012. [Электронный ресурс] URL: [http://www.americaswetlandresources.com/background\\_facts/detailedstory/LouisianaRiverControl.html](http://www.americaswetlandresources.com/background_facts/detailedstory/LouisianaRiverControl.html).
23. Знаменская Н.С. Донные наносы и русловые процессы. Ленинград: Гидрометеиздат., 1976. 191 с.
24. Р.52.24.627-2001 от 09.11.2001 Рекомендации. Методы прогностических расчетов распространения по речной сети зон высокозагрязненных вод и использования для прогнозов трассерных экспериментов, имитирующих аварийные ситуации. Утверждены Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс] URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293831/4293831808.htm>.

#### REFERENCES

1. 250 ans de l'École des Ponts en cent portraits. Coronio G., dir. Paris : Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 1997. 221 p.
2. SP 100.133330. 2016 *Meliorativnye sistemy i sooruzhenija. Aktualizirovannaja redakcija SNIp 2.06.03 – 85* [Reclamation systems and constructions. Updated version SNIp 2.06.03 – 85]. Utverzhdjen prikazom Ministerstva stroitel'stva i ZhKH RF ot 16.12.2016 N 953/pr.
3. SP 46.133330. 2012 *Mosty i trubny. Aktualizirovannaja redakcija SNIp 3.06.04 – 91* [Bridges and pipes. Updated version SNIp 3.06.04 – 91. Utverzhdjen Ministerstvom regional'nogo razvitija RF ot 29.12.2011 N 635.
4. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teorija, geografija, praktika* [The science of riverbeds: theory, geography, practice] T. 1. Ruslovyje processy: faktory, mehanizmy, formy pojavlenija i uslovija formirovanija rechnyh rusel. Moscow: LKI Publ., 2008. 608 p.
5. Baryshnikov N.B. *Dinamika ruslovyh potokov* [Dynamics of riverbed flows]. Saint Petersburg: RGGMU Publ., 2016. 342 p.
6. Baryshnikov N.B., Pagine A.O. *Gidravlichesкое soprotivlenie rechnyh rusel* [Hydraulic resistance of river channels]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*, 2010. No 2, pp. 90 – 93.
7. Klaven A.B., Kopaliani Z.D. *Jeksperimental'nye issledovanija i gidravlichesкое modelirovanie rechnyh potokov i ruslovogo processa* [Experimental studies and hydraulic modeling of river flows and channel process]. SPb.: Nestor-Istorija, 2011. 504 p.
8. Karasev I.F. *Gidravlichesкие soprotivlenija i sistemnaja morfometrija samoformirujushhijhsja rusel rek i kanalov* [Hydraulic resistances and system morphometry of self-forming riverbeds and channels]. *Izvestija Rossijskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gercena*, 2007. No 7(26), pp. 153-164.
9. Kolesnik Je.P. *Formuly dlja opredelenija kojefficienta Shezi* [Formulas for determining the coefficient Chezy]. Vypusknaja kvalifikacionnaja rabota. SPb.: RGGU, 2017. 75 p.

- [Electronic resource]. URL: [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/rid\\_93cd4ff39b124cb0b7fc25f8a78b02e4.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_93cd4ff39b124cb0b7fc25f8a78b02e4.pdf) (accessed 18.03.2020).
10. Bogomolov A.V. Lepehin A.P. *Ocenka gidravlicheskogo soprotivlenija na rekah Permskogo kraja* [Estimation of hydraulic resistance on the rivers of Perm region]ю Materialy *Vserossijskoj konferencii "Processy samoorganizacii v jerozionno-ruslovyh sistemah i dinamike rechnyh dolin"* [Self-organization processes in erosion-channel systems and dynamics of river valleys] 3–12 ijulja 2012 g. 5 p. 75 p. [Electronic resource]. URL: <http://channel2012-ru.lgb.ru/congeo.htm> (accessed 18.03.2020).
  11. Baryshnikov N.B. *Gidravlicheskie soprotivlenija rechnyh rusel: uchebnoe posobie* [Hydraulic resistance of river channels] SPb.: RGGMU Publ., 2003. 147 p.
  12. Naumov V.A. *Koefficient sherohovatosti rusla reki Pissy* [Roughness coefficient of the Pissa river bed]. *Vestnik nauki i obrazovanija Severo-Zapada Rossii: elektronnyj zhurnal*, 2017. Vol. 3. No 3. pp. 1-7. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/09/2017-N3-Naumov.pdf>.
  13. Naumov V.A. *Jempiricheskaja zavisimost' koefficienta sherohovatosti rusla reki Krasnoj ot chisel Fruda* [Empirical dependence of the roughness coefficient of river Krasnaya bed from Froude numbers]. *Vestnik nauki i obrazovanija Severo-Zapada Rossii: elektronnyj zhurnal*, 2018. V. 4. No 3, pp. 89-98. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2018/12/2018-N4-Naumov.pdf>.
  14. Kalinin A.V. *Zavisimost' koefficienta Shezi ot chisla Fruda* [Dependence of the Chezy coefficient from Froud number] // *Vestnik nauki i obrazovanija Severo-Zapada Rossii: jelektronnyj zhurnal*, 2019. Vol.5. No 3, pp. 38-56. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2019/10/2019-N3-Kalinin.pdf>.
  15. Baryshnikov N.B., Samuseva E.A. *Antropogennoe vozdejstvie na samoregulirujushhujusja sistemu bassejn – rechnoj potok – ruslo* [Anthropogenic impact on the self-regulating system basin-river flow-riverbed] SPb.: RGGMU Publ., 1999. 220 p.
  16. Brownlie W.R. *Compilation of alluvial channel data: laboratory and field*. Pasadena: California Institute of Technology, 1981. 209 p.
  17. Manning R. *On the flow of water in open channels and pipes* // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers of Ireland*, 1890. Vol. 20, pp. 161 – 206. Available at: URL: [http://digitalcollections.tcd.ie/home/index.php?DRIS\\_ID=ICEI-020\\_308](http://digitalcollections.tcd.ie/home/index.php?DRIS_ID=ICEI-020_308).
  18. Pierson S.M. et al. *Strahler Stream Order and Strahler Calculator Values in NHD Plus*. SOSC Technical paper. September 30, 2008. 11p. Available at: URL: [ftp://ftp.horizon-systems.com/NHDPlusExtantions/SOSC/SOSC\\_technical\\_paper.pdf.2008](ftp://ftp.horizon-systems.com/NHDPlusExtantions/SOSC/SOSC_technical_paper.pdf.2008).
  19. Sokolov A.A. *Gidrografija SSSR* [Hydrography of the USSR] Leningrad: Gidrometeoizdat, 1952. 545 p.
  20. Bogoslovskij B.B., Samohin A.A., Ivanov K.E., Sokolov D.P. *Obshhaja gidrologija* [General hydrology]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. 422 p.
  21. Kalinin A.V. *Vlijanie ruslovoj vyemki na gidravlicheskij rezhim reki* [Influence of channel dredging on the hydraulic regime of the river]. Dis.... kand. tehn. nauk. Moscow: RUDN, 1987. 179 p.
  22. Louisiana Old River Control Complex end Mississippi River Flood Protection. Juin 1, 2012. [Electronic resource]. URL: [http://www.americaswetlandresources.com/background\\_facts/detailedstory/LouisianaRiverControl.html](http://www.americaswetlandresources.com/background_facts/detailedstory/LouisianaRiverControl.html) (accessed 18.03.2020).
  23. Znamenskaja N.S. *Donnye nanosy i ruslovyje processy* [Bottom sediments and riverbed processes]. Leningrad: Gidrometeoizdat., 1976. 191 p.
  24. R.52.24.627-2001 ot 09.11.2001 *Rekomendacii. Metody prognosticheskikh raschetov rasprostraneniya po rechnoj seti zon vysokozagrjaznennyh vod i ispol'zovanija dlja prognozov trassernyh jeksperimentov, imitirujushhih avarijnye situacii* [Recommendations. Methods for



predictive calculations of the distribution of highly polluted water zones along the river network and for using forecasts of tracer experiments, which simulate emergency situations.]. Utverzhdenny Federal'noj sluzhboj Rossii po gidrometeorologii i monitoringu okruzhajushhej sredy. [Electronic resource]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293831/4293831808.htm> (accessed 18.03.2020).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Калинин Анатолий Владимирович*

Ассоциация профсоюзных организаций города Тольятти, Тольятти, Россия, председатель, кандидат технических наук, доцент, почетный работник высшего профессионального образования РФ,

E-mail: [anatole.kalinin@yandex.ru](mailto:anatole.kalinin@yandex.ru)

*Kalinin Anatoliy Vladimirovich*

Association of trade Union organizations of Tolyatti, Tolyatti, Russia, Chairperson, Candidate of Engineering Sciences, associate Professor, honorable officer of the higher professional education of RF,

E-mail: [anatole.kalinin@yandex.ru](mailto:anatole.kalinin@yandex.ru)

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с автором статьи:  
445054, Самарская область, Тольятти, ул. Баныкина, д. 68, кв. 98, Калинин А.В.  
8(927)610-48-64