

Г. Н. ПЕТРОВ

КОЭФФИЦИЕНТ ШЕРОХОВАТОСТИ ДЛЯ МАЛЫХ РАВНИННЫХ РЕК

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 4 XI 1948)

Произведенное по материалам гидрометрических станций Куйбышевского управления гидрометслужбы СССР исследование величины коэффициента шероховатости n для морфологически однородных, устойчивых, беспойменных участков русел малых рек Татарской АССР показало, что для малых равнинных рек n не является величиной постоянной, а меняется в широких пределах (рис. 1) и значительно отличается от норм R и классификаций, принятых для гидравлического расчета естественных русел⁽³⁾.

В районе станций грунт меженного русла: песчаный (пост Дербышки на р. Казанке и Бурундуки на р. Свияге), песчано-галечный (пост Лебединое озеро на р. Иж) или мелкогалечный (Заинск на р. Зай, Гусевка на р. Тойма). В пределах весеннего подъема горизонтов берега рек крутые, задернованные, сложены аллювиальными суглинистыми грунтами.

Исследование показало, что величина n в период межени в большей степени зависит от застарелости русла, а не от грунта ложа и глубины потока.

Для периода весеннего паводка n изменяется с увеличением средней глубины потока R и образует различные типы кривых $n = \varphi(R)$ (рис. 1). Разнообразие кривых не является следствием только морфологического различия створов, что установил П. И. Джикия⁽²⁾ для рек Закавказья. Для малых рек в аллювиальных отложениях тип кривой $n = \varphi(R)$ определяется сложным взаимодействием русла и погоды. Характер этого взаимодействия изменяется во времени, поэтому абсолютная величина n для каждого створа не остается постоянной и из года в год при одинаковых R за период весеннего половодья изменяется в широких пределах (рис. 2).

Морфологическая однородность и неразмываемость русел послужили основанием для предположения о том, что различные годовые

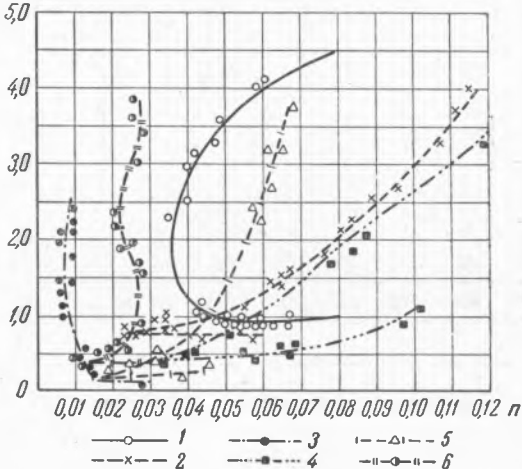


Рис. 1. Зависимость R от n : 1 — пост Лебединое озеро, 1934 г.; 2 — пост Бурундуки, 1935 г.; 3 — пост Заинск, 1940 г.; 4 — пост Александрия, 1935 г.; 5 — пост Гусевка, 1936 г.; 6 — пост Дербышки, 1935 г.

ветви кривых $n = \varphi(R)$ появляются в результате различного количества наносов. Непосредственные измерения количества наносов и мутности в этих реках отсутствуют, однако косвенным показателем может служить характер изменения дна русла.

Средняя отметка дна русла T в период паводка меняется соответственно с изменением горизонта воды H . Исследование показало, что при одинаковых H для разных лет T сохраняется неизменным. Например, для поста Лебединое озеро имеем (табл. 1).

Таблица 1

H в см над 0	Величины	1939 г.	1940 г.	1934 г.
700	T	58,6	58,70	58,4
÷750	n	0,084	0,042	0,067
500	T	58,02	58,02	58,09
	n	0,055	0,026	0,040
250	T	57,56	57,60	57,52
	n	—	0,030	0,064

Относительное постоянство T позволяет предполагать, что количество наносов для различных лет при одинаковых H неизменно, и, следовательно, не наносы обуславливают изменение n .

Наши исследования показали, что переменной величиной, влияющей на изменение коэффициента n , является уклон i . Сопоставление кривых $i = \varphi_1(R)$ и $n = \varphi(R)$,

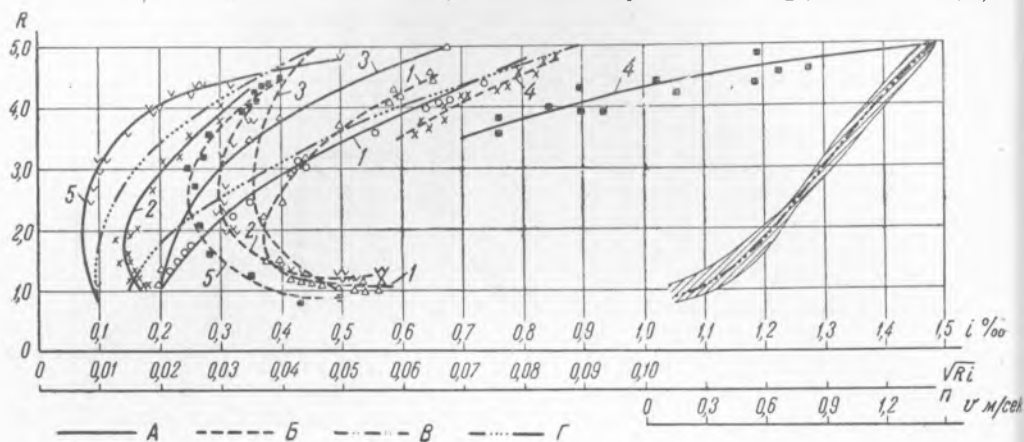


Рис. 2 Река Иж, пост Лебединое озеро. А — i : 1 — 1934 г., 2 — 1935 г., 3 — 1938 г., 4 — 1939 г., 5 — 1940 г.; Б — n (годы те же); В — v м/сек. и пределы ее изменения за период 1934—1940 гг.; Г — пределы величины $V\sqrt{Ri}$

а также зависимости $V\sqrt{Ri} = \varphi_2(R)$ (рис. 2) показывает, что для разных лет i и n при одинаковых R меняются согласованно, что обеспечивает практическое постоянство величины средней скорости v естественного потока. Для поста Лебединое озеро имеем следующее соотношение (табл. 2).

Аналогичная картина наблюдается и на других створах. Таким образом, отсутствует пропорциональность между величиной скорости и уклоном, что и приводит к несоответствию расчетных скоростей с фактически замеренными, когда n и i выбираются случайно и не соответствуют друг другу.

Исследование показало, что имеются зависимости $(n/i^{0.5}) = \varphi_3(R)$ и $n = \varphi_4(i)$, которые позволяют более обоснованно подходить к выбору коэффициента шероховатости (рис. 3 и 4). Наличие индивидуальных кривых $(n/i^{0.5}) = \varphi_3(R)$ для постов и ограниченные пределы изменения $n = \varphi_4(i)$ позволяют существенно уточнить расчеты.

R в м	i в ‰	$\sqrt{Ri}$	v в м/сек.	$i_{\max} : i_{\min}$
1,0	$0,08 \div 0,2$	$0,0089 \div 0,014$	$0,25 \div 0,40$	2,5
3,0	$0,09 \div 0,56$	$0,016 \div 0,041$	$0,80 \div 1,0$	6,2
5,0	$0,4 \div 1,65$	$0,044 \div 0,091$	$1,35 \div 1,55$	4,1

Примечание. Для i , $\sqrt{Ri}$ и v в таблице даны предельные значения, полученные при фактических измерениях.

При этом следует учитывать:

1. $(n/i^{0,5}) = \varphi_3(R)$ имеет прямолинейный характер при $R > 2,0 \div 3,0$ м.

2. При $R < 2,0$ м $(n/i^{0,5}) = \varphi_3(R)$ изменяется для различных постов по разным кривым вследствие индивидуальных микроморфологических особенностей створа, к изучению которых необходимо приступить.

3. Зависимости $(n/i^{0,5}) = \varphi_3(R)$ и $n = \varphi_4(i)$ являются устойчивыми для створов, расположенных на участках рек, не находящихся в условиях естественного или искусственного подпора.

Взаимозависимость и взаимообусловленность величин n и i указывают, что коэффициент шероховатости отражает не только физическую шероховатость русла, которая определяется: характером грунта, очертанием русла в плане, поперечном и продольном сечениях (сужения, расширения, повороты), влиянием растительности, бентоса и физическими свойствами воды, количеством и характером наносов. На формирование величины коэффициента шероховатости так же влияют внутренние силы сопротивления движению воды, как проявление гидродинамической структуры потока. Интенсивное перемешивание турбулентного потока действует само как тормозящая сила, чем часто пренебрегают в гидравлике, когда все сопротивления представляют сосредоточенными на поверхности стенок русла, не учитывая гидродинамической структуры движущейся жидкости.

Таким образом, определяемая из наблюдений величина n является кажущимся коэффициентом шероховатости и отражает сложное сочетание различных физических явлений. Различные условия формирования паводка и движения его волны, которые для малых рек являются особенно изменчивыми, даже при неизменной физической шероховатости, создают различную турбулизацию потока, что меняет

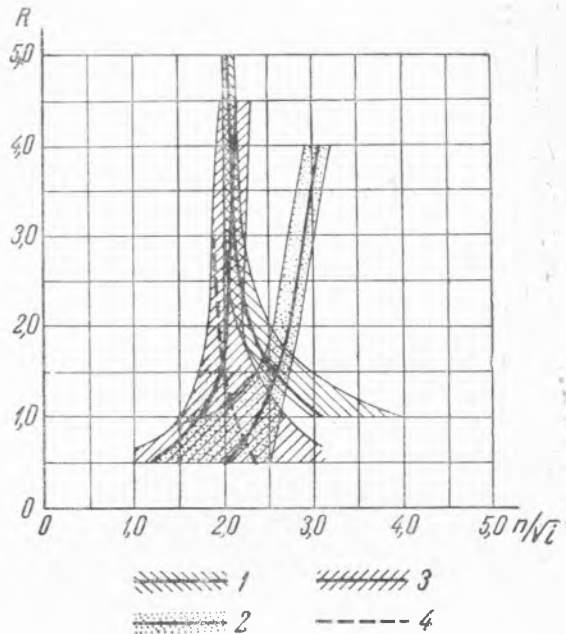


Рис. 3. Зависимость R от $n/\sqrt{i}$: 1 — пост Лебединое озеро, 2 — пост Бурундуки, 3 — пост Дербышки, 4 — пост Зайнск

внутренние силы сопротивления движению воды, обуславливает различные значения и взаимосвязь i и n и создает постоянство v . Следовательно, для малых рек, при неустойчивом и неравномерном движении, нельзя принимать постоянное значение коэффициента шероховатости, как обычно делают при гидравлических расчетах естественных русел. Также нельзя определять n для высокого исторического горизонта путем экстраполяции кривой $n = \varphi(R)$, построенной для любого года. В инженерных расчетах n выбирается по

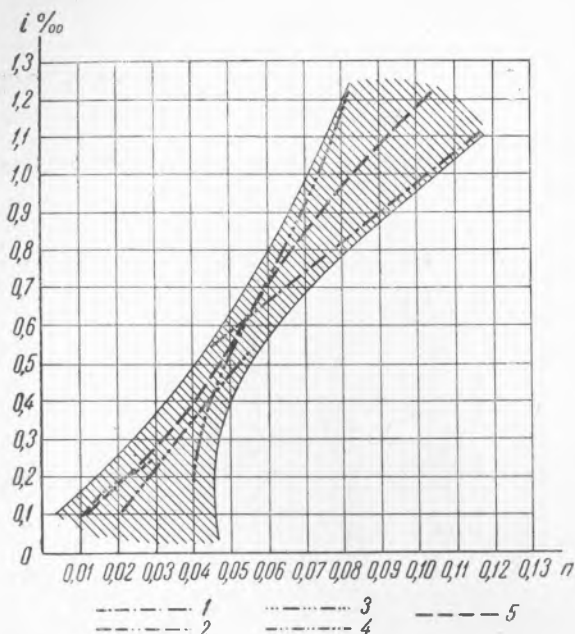


Рис. 4. Зависимость i от n : 1 — пост. Бурундуки, 1945 г.; 2 — пост. Бурундуки, 1940 г.; 3 — пост. Лебединое озеро, 1934 г.; 4 — пост. Лебединое озеро, 1940 г.; 5 — средняя линия для 15 створов

морфологической характеристике русла и считается мало зависимым от R , а i определяется по уклону межи или поймы или устанавливается по случайным и ненадежным следам прошлых паводков. Взаимное соответствие между n и i не обеспечивается, что приводит к несоответствию расчетов с фактическими наблюдениями скорости течения воды.

Чл.-корр. АН СССР М. А. Великанов ⁽¹⁾ указывает, что в естественных потоках, русло которых не задано извне, а формируется самим потоком, "... в результате длительного взаимодействия потока и русла проявляются особого рода зависимости между уклоном, расходом, формой русла, размерами твердых частиц, наконец, формой гид-

рографа, определяемого в свою очередь климатическими и геоморфологическими характеристиками водосбора". Эти зависимости негидравлического характера, действуя совместно с гидравлическими, создают сложное взаимодействие русла и потока. Это положение находит подтверждение в результатах наших исследований, которые позволяют уточнить инженерные расчеты.

Выводы. 1. При гидравлических расчетах естественных русел необходимо величину n определять подбором во взаимосвязи с уклоном, используя рис. 3 и 4, которые дают предельные условия, однако подлежат проверке на материале местных рек.

2. Дальнейшие исследования величины n следует проводить с целью: а) более детальной морфологической характеристики русел, индивидуальные особенности которых проявляются на рис. 3 и 4 различной зависимостью между n , i и R ; б) учета условий формирования и характера паводка для различных лет и различных геоморфологических и климатических районов с целью классификации рек по этим признакам.

Казанский филиал
Академии наук СССР

Поступило
23 IX 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. А. Великанов, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 9, № 4 (1947).
² П. И. Джикия, Тр. Тбилисс. геофиз. ин-та, 6 (1941). ³ М. Ф. Срибный, Нормы сопротивления движению естественных водотоков и расчет отверстия больших мостов по способу бытовых морфологических характеристик, 1932.