



УДК 631.6. (575.2)

© 2017 г. **Г.К. Керимкулова**, канд. физ.-мат. наук,
Г.О. Аскалиева

(Институт автоматизации и информационных технологий НАН КР, Бишкек)

О ГРАНИЦЕ ПРИМЕНИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ МУТНОСТИ ВОДЫ Е.В. КЛЕВЦОВА

Установлено ограничение модели $O^{пм}$ применимости показательного профиля мутности воды Е.В. Клевцова к условиям средних и малых рек горно-предгорной зоны Кыргызстана. Указанное ограничение представляет собой совокупности граничных значений уклона и относительной шероховатости дна водотоков, параметров показательных профилей скорости и мутности воды, максимальной скорости воды и предельной координаты минимальной (ненулевой) мутности воды при фиксированном фракционном составе (или крупности) взвешенных наносов.

Ключевые слова: профиль скорости воды, распределение мутности потока, параметры m и β^* указанных распределений, граница применимости.

DOI: 10.22250/isu.2017.53.125-132

Введение

Смысл предлагаемых нами модели и методов нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков [1] направлен на повышение качества сравнения эксперимента с теорией. Основу эксперимента составляют результаты измерений параметров и характеристик потока воды в открытых водотоках, а теории – полуэмпирические теории (диффузия, гравитация) взвесенесущих потоков воды, модели изотропной и локально-изотропной турбулентности и т.д. Базовые положения и структуры модели и ее методов приведены в работах [2, 3]. Подобная идентификация позволяет идентифицировать эмпирические значения параметров и характеристик водного потока соответствующими теориями, что дает возможность использовать хорошо отработанный математический аппарат упомянутых теорий.

Целью указанных модели и ее методов является повышение качества очистки оросительной воды от взвешенных наносов путем обоснованного выбора и назначения соответствующих проектных решений и рекомендаций по применению автоматизированных и гидроавтоматических устройств наноса для отвлекающих, перехватывающих, регулирующих и очистных сооружений.

В процессе идентификации применяют те или иные расчетные профили скорости воды и относительной мутности потока. Из гидродинамики известно (например, [4]), что профиль мутности воды можно получить с использованием коэффициента турбулентной диффузии, в который, в свою очередь, входит производная от продольной скорости воды по вертикальной координате.

Если в качестве такого профиля выбрать параболическое распределение скорости воды, то получим профиль относительной мутности М.В. Маккавеева, эллиптический – А.В. Караушева [5], логарифмический – М.А. Великанова [4] и т.д. Е.В. Клевцов предложил [6] применить показательный закон скорости воды, в результате чего им была выведена формула показательного распределения относительной мутности воды по глубине потока. Однако им не были выявлены пределы применимости подобной зависимости. С другой стороны, В.Ф. Талмаза и Г.Н. Романенко [7], исследуя распределения относительной скорости воды по глубине потока, рекомендовали для условий горно-предгорной зоны Кыргызстана как предпочтительный показательный профиль скорости воды, но они не указали конкретные границы возможного использования этого закона.

При выполнении госбюджетного проекта [8] Г.К. Керимкуловой было установлено, в частности, что у реки Сусамыр (уклон дна ее $i = 0,0013$, параметр показательной зависимости мутности Е.В. Клевцова $\beta^* \sim 35$) практически нулевая относительная мутность ($\tilde{S} = 0,00014$) наблюдается в точке с относительной координатой $\tilde{y} = 0,2$, т.е. получается, что взвешенные наносы диаметром $\bar{d} \sim 0,5$ мм и гидравлической крупностью $\bar{W} = 0.0524$ м/с транспортируются потоком воды в придонной его части. Это вызывает сомнение, так как река Сусамыр с расходом воды $Q_{\text{ср,год}} = 51,0$ м³/с и $\bar{u}^0 = 1,60$ м/с способна переносить указанные наносы в основной толще потока, а не исключительно в его придонной части. Поэтому возникает вопрос о границе применимости профиля мутности воды.

Постановка задачи

На основе экспериментальных материалов (17 рек Кыргызстана) составлена табл. 1, в которую включены значения уклонов дна этих водотоков и параметра показательной зависимости β^* и где водотоки расставлены в порядке убывания параметра β^* ; к, с, м – соответственно крупная, средняя и малая реки.

Таблица 1

Река	i [2]	β^*
Тюп (к)	0,0009	91,6
Джергалан (к)	0,0010	59,4
Талас (к)	0,0015	36,9
Сусамыр (к)	0,0013	34,6
Кара-Бура (с)	0,0090	12,7
Суек (с)	0,0082	7,99
Джуван Арык (к)	0,0075	6,55
Карабалты (с)	0,0140	5,06
Ур Марал (с)	0,0110	5,00
Джети-Огуз (с)	0,0170	4,13
Устье Б.Кемин (к)	0,0100	4,04
Сокулук (с)	0,0240	2,21
Чон Каинды (с)	0,0370	2,15
Туюк (м)	0,0430	1,74
Джергалчак (м)	0,0450	1,67
Бозшук (м)	0,0540	1,39
Бор Дюбе (м)	0,0630	1,35

Исходя из практических соображений, можно предположить, что упомянутая граница расположена в районе значений параметра $\beta^* \leq 10$, но это требует более детального анализа и проверки.

Задача исследований и решение поставленной задачи

Установим границу применимости показательного профиля мутности Е.В. Клевцова, используя материалы исследования 17 рек Кыргызстана, представленные на рис. 1, где m – значения параметра показательного закона скорости воды; к, с, м – классификационные индексы водотоков соответственно крупной, средней и малой рек.

В правой части графика (рис. 1) реки пронумерованы справа налево: 1 – Бор Дюбе; 2 – Бозшук; 3 – Джергалчак; 4 – Туюк; 5 – Чон Каинды; 6 – Сокулук; 7 – Б. Кемин; 8 – Джети-Огуз; 9 – Ур Марал; 10 – Карабалты. Этот график можно разделить на три части: 1 – левая ветвь, 2 – центральная зона, 3 – правая ветвь. При этом для левой и правой ветвей графика характерна тенденция уменьшения β^* при увеличении i (соответствующие сглаженные кривые не приведены), а центральная зона отличается достаточно хаотическим расположением точек (в которое «вмешивается» косвенное влияние параметра m показательного закона скорости), что может свидетельствовать о неустойчивости рассматриваемой связи в указанной области. Естественно допустить, что искомая граница находится в

ЭТОЙ ЗОНЕ.

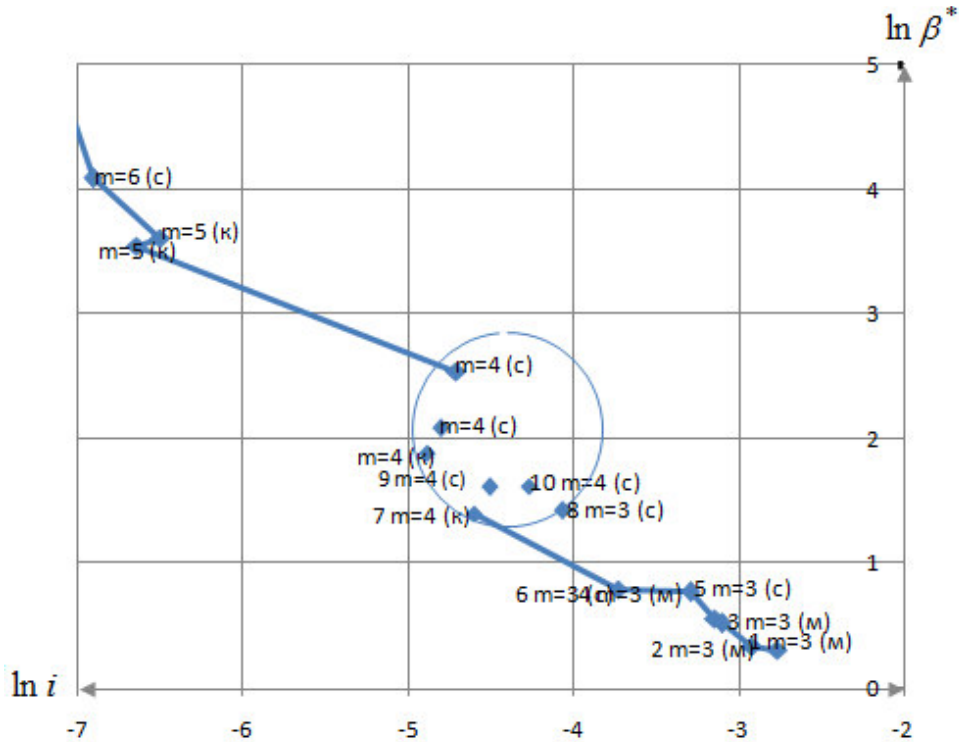


Рис. 1. График данных о связи $\beta^*(i)$.

Предположим, что подобная граница начинается со значения $\beta^* \leq 5$, т.е. рассмотрим группу из 10 рек: Бор Дюбе, Бозшук, Джергалчак, Туюк, Чон Каинды, Сокулук, устье Б.Кемин, Джети-Огуз, Ур Марал, Карабалты (среди которых одна крупная, пять средних и четыре малых реки). Для оценки достаточно взять несколько объектов, остановимся на четырех реках: Бор Дюбе ($\beta^* \sim 1$), Чон Каинды ($\beta^* \sim 2$), Джети-Огуз ($\beta^* \sim 4$) и Карабалты ($\beta^* \sim 5$).

Рассчитаем показательные профили мутности Е.В. Клевцова по формулам [9] для выбранных объектов

$$\tilde{S}(\tilde{y}) = F_1^{(-)}(\tilde{\Delta}) \cdot F_2^{(-)}(\tilde{\Delta}) \cdot F_3^{(-)}(\tilde{\Delta}) \cdot F_1(\tilde{y}) \cdot F_2(\tilde{y}) \cdot F_3(\tilde{y}). \quad (1)$$

Тогда при нечетном m получим:

$$F_1(\tilde{y}) = \exp[\beta^* \cdot \ln(1 - \tilde{y}^{1/m})]; \quad (2)$$

$$F_2(\tilde{y}) = \prod_{k=1}^{(m-1)/2} \exp[\beta^* \cdot a_1 \cdot \ln(1 + 2\tilde{y}^{1/m} \cdot a_2 + \tilde{y}^{2/m})]; \quad (3)$$

$$F_3(\tilde{y}) = \prod_{k=1}^{(m-1)/2} \exp\left[2\beta^* \cdot a_3 \cdot \arctg\left(\frac{\tilde{y}^{1/m} + a_2}{a_4}\right)\right]; \quad (4)$$

$$a_1 = \cos\left[\frac{(2k-1)(m-1) \cdot \pi}{m}\right]; \quad (5)$$

$$a_2 = \cos\left[\frac{(2k-1) \cdot \pi}{m}\right]; \quad (6)$$

$$a_3 = \sin\left[\frac{(2k-1)(m-1) \cdot \pi}{m}\right]; \quad (7)$$

$$a_4 = \sin\left[\frac{(2k-1) \cdot \pi}{m}\right], \quad (8)$$

а при четном m будем иметь:

$$F_1(\tilde{y}) = \exp\left[\beta^* \cdot \ln\left(\frac{1 - \tilde{y}^{1/m}}{1 + \tilde{y}^{1/m}}\right)\right]; \quad (9)$$

$$F_2(\tilde{y}) = \prod_{k=1}^{(m-2)/2} \exp\left[\beta^* \cdot a_5 \cdot \ln(1 + \tilde{y}^{2/m} - 2\tilde{y}^{1/m} \cdot a_6)\right]; \quad (10)$$

$$F_3(\tilde{y}) = \prod_{k=1}^{(m-2)/2} \exp\left[-2\beta^* \cdot a_7 \cdot \arctg\left(\frac{\tilde{y}^{1/m} - a_6}{a_8}\right)\right]; \quad (11)$$

$$a_5 = \cos\left[\frac{(m-1)}{m} \cdot k \cdot 2\pi\right]; \quad (12)$$

$$a_6 = \cos\left(\frac{k \cdot 2\pi}{m}\right); \quad (13)$$

$$a_7 = \sin\left[\frac{(m-1)}{m} \cdot k \cdot 2\pi\right]; \quad (14)$$

$$a_8 = \sin\left(\frac{k \cdot 2\pi}{m}\right). \quad (15)$$

При этом для всех вариантов (1) – (15), т.е. нечетных и четных значений параметра m :

значения функций $F_i^{(-)}(\tilde{\Delta})$ следуют из $F_i(\tilde{y})$ при $\tilde{y} = \tilde{\Delta}$ с появлением у показателя экспоненты знака минус;

параметр m вычисляют в виде

$$m = 1.5 + \frac{0,314 \cdot C}{\sqrt{g}}, \quad (16)$$

где C – коэффициент Шези; $m^{1/2}$ /с; g – ускорение свободного падения, m/c^2 . Расчет m ведут до целых, так как лишь целые числа обладают свойством «четности–нечетности» и через m определяют количество сомножителей под знаком произведения;

параметр β^* вычисляют по формуле

$$\beta^* = \frac{1,65 \cdot W}{i \cdot u_m}, \quad (17)$$

где W – гидравлическая крупность взвешенных наносов, m/c ; i – уклон дна водотока; u_m – максимальная скорость потока воды, m/c .

Необходимые для вычисления профилей мутности воды коэффициенты a_i

и значения функции $F^{(-)}(\tilde{\Delta}) = F_1^{(-)}(\tilde{\Delta}) \cdot F_2^{(-)}(\tilde{\Delta}) \cdot F_3^{(-)}(\tilde{\Delta})$ приведены соответственно в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Коэффициенты			
a_1	a_2	a_3	a_4
Бор Дюбе, Чон-Каинды, Джети-Огуз; $m = 3$			
-0,50	0,50	0,87	0,86
a_5	a_6	a_7	a_8
Карабалты; $m = 4$			
0	0	-1	1

Для дальнейшего анализа введем понятие предельного значения относительной вертикальной координаты наблюдения минимальной (ненулевой) мутности, которое лимитирует применение показательного профиля мутности воды $\tilde{y} (\tilde{S}_{\text{мин}} \neq 0)$. Будем считать, что $\tilde{y} \geq 0,5$.

Таблица 3

Река	Относительная шероховатость дна водотока $\tilde{\Delta}$	$F^{(-)}(\tilde{\Delta})$
Бор Дюбе	0,28	0,52
Чон Каинды	0,22	0,42
Джети-Огуз	0,15	0,12
Карабалты	0,12	4,20

Расчитанные показательные профили мутности воды приведены в табл. 4 и на рис. 2.

Для определенности анализа положим:

минимальное «ненулевое» значение мутности воды таковым, когда первая значащая цифра находится во втором знаке после запятой;

минимальное «нулевое» значение мутности воды таковым, когда первая значащая цифра находится в третьем знаке после запятой.

Таблица 4

$\beta^* \sim 1, m = 3$		$\beta^* \sim 2, m = 3$		$\beta^* \sim 4, m = 3$		$\beta^* \sim 5, m = 4$	
\tilde{y}	$\tilde{S}(\tilde{y})$	\tilde{y}	$\tilde{S}(\tilde{y})$	\tilde{y}	$\tilde{S}(\tilde{y})$	\tilde{y}	$\tilde{S}(\tilde{y})$
0,12	1,0	0,22	1,0	0,18	1,0	0,12	1,0
0,2	0,85	0,3	0,72	0,2	0,85	0,2	0,47
0,4	0,55	0,4	0,47	0,4	0,16	0,4	0,07
0,6	0,33	0,6	0,17	0,6	0,020	0,5	0,022
0,8	0,15	0,8	0,036	0,8	0,00093	0,6	0,0060
0,95	0,036	1,0	0	1,0	0	0,8	0,00014
1,0	0					1,0	0
а)		б)		в)		г)	

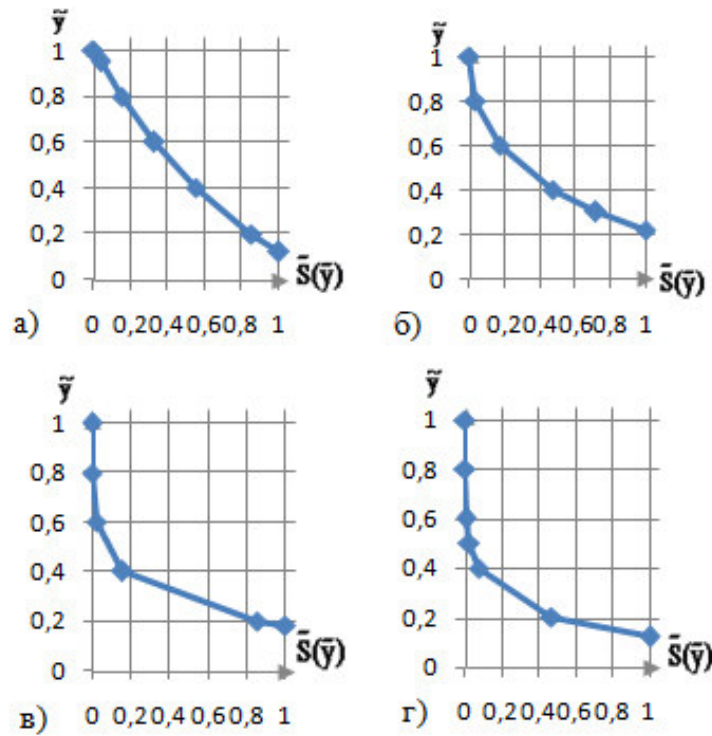


Рис. 2. Показательные профили мутности воды для выбранных объектов:
 а) р. Бор Дюбе, б) р. Чон Каинды, в) р. Джети-Огуз, г) р. Карабалты.

Руководствуясь данными рис. 2, устанавливаем, что упомянутые предельные значения $\tilde{y}(\tilde{S}_{\min} \neq 0)$ составляют для рек: Бор Дюбе 0,95 ($\tilde{S}_{\min} = 0,036$), Чон Каинды 0,8 ($\tilde{S}_{\min} = 0,036$), Джети-Огуз 0,6 ($\tilde{S}_{\min} = 0,020$), Карабалты 0,5 ($\tilde{S}_{\min} = 0,022$). По этим данным построим график (рис. 3). Видно, что рассматриваемая зависимость практически линейна.

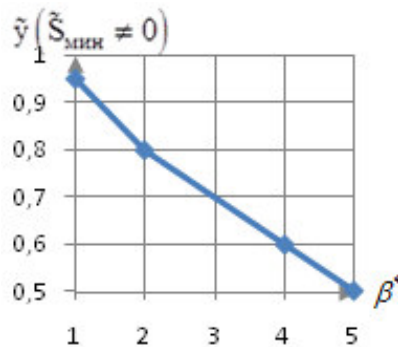


Рис. 3. Предельные значения координаты $\tilde{y}(\tilde{S}_{\min} \neq 0)$ в зависимости от параметра β^* .

Перейдем к формированию ограничения ($O^{\text{ППМ}}$) применимости показательного профиля мутности воды (ППМ – показательный профиль мутности).

Указанное ограничение должно охватывать следующие параметры и характеристики: i , m , β^* , $\tilde{\Delta}$, u_m , $\tilde{y}(\tilde{S}_{\min} \neq 0)$. Обращаясь к данным табл. 1, 3 и рис. 2, 3, устанавливаем граничные значения указанных величин: $i \geq 0,01$; $m \leq 4$; $\beta^* \leq 5$; $\tilde{\Delta} < 0,3$; $u_m \geq 1$ м/с; $\tilde{y}(\tilde{S}_{\min} \neq 0) \geq 0,5$ при $\bar{d} \sim 0,5$ мм ($\bar{W} = 0,0524$ м/с).

Заключение

Установлено ограничение O^{ppm} применимости показательного профиля мутности воды Е.В. Клевцова к условиям средних и малых рек горно-предгорной зоны Кыргызстана. Указанное ограничение представляет собой совокупности граничных значений уклона и относительной шероховатости дна водотоков, параметров показательных профилей скорости и мутности воды, максимальной скорости воды и предельной координаты минимальной (ненулевой) мутности воды при фиксированном фракционном составе (или крупности) взвешенных наносов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пресняков К.А., Керимкулова Г.К., Аскалиева Г.О. Нетрадиционная идентификация режимных параметров открытых водотоков. – Бишкек: Текник. – 2016.
2. Пресняков К.А., Керимкулова Г.К., Аскалиева Г.О. Основные положения модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков // Итоги науки. – М.: Изд-во РАН, 2014. – Т. 1. – С.61-87.
3. Пресняков К.А., Керимкулова Г.К., Аскалиева Г.О. Структура метода нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков // Материалы IX Международного симпозиума «Фундаментальные и прикладные проблемы науки». – М.: Изд-во РАН, 2014. – Т. 7. – С.57-64.
4. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. – Т.2. Наносы и русло. – М.: Гос. изд. техн.-теор. лит., 1955.
5. Караушев А.В. Проблемы динамики естественных водных потоков. – Л.: ГИМИЗ, 1960.
6. Клевцов Е.В. Исследование процесса истирания бетонных облицовок каналов с бурным режимом течения: Дис. ... канд. техн. наук. – Фрунзе: ВНИИКАМС, 1980.
7. Талмаза В.Ф., Романенко Г.Н. Распределение осредненных скоростей в бурных потоках // Вопросы водного хозяйства (гидротехника). – Фрунзе: – 1972. – Вып. 26. – С. 99-109.
8. Отчет о научно-исследовательской работе по направлению «Разработка метода выявления и восстановления недостающих разнородных параметров и характеристик открытых водотоков в условиях дефицита исходной информации» // Промежуточный отчет ИАИТ НАН КР. – Бишкек, 2016.
9. Пресняков К.А. Разработка технических средств и устройств гидроавтоматики для очистки воды от наносов. – Бишкек: Илим, 2009.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Ж.Ш. Шаршеналиевым.

E-mail:

Керимкулова Гулсаат Кубатбековна – gulsaat@mail.ru;

Аскалиева Гулзада Орозобаевна – 87guzya@mail.ru.