

УДК 626.876.1

## ВЫЯВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТИЧНО ИЗУЧЕННЫХ ОТКРЫТЫХ ВОДОТОКОВ

*К.А. Пресняков, Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева*

Показан принцип реализации нетрадиционной идентификации режимных параметров частично изученных открытых водотоков. Получена визитная карточка идентифицированного объекта, позволяющая обоснованно выбрать и назначить технологический режим очистки воды от взвешенных наносов.

*Ключевые слова:* нетрадиционная идентификация; режимные параметры; средняя скорость воды; профиль относительной скорости воды; распределение относительной мутности потока; среднее значение относительной мутности воды; теории: диффузионная, гравитационная.

---

## DETECTION OF THE MAIN REGIME CHARACTERISTICS OF THE PARTIAL STUDIED OPEN WATER CURRENTS

*K.A. Presnyakov, G.K. Kerimkulova, G.O. Askalieva*

The article is dedicated to the principle of realization of nonconventional identification of regime parameters of partially studied open water currents. It is received the card of the identified object allowing reasonably choosing and appointing a technological mode of water purification from weighed deposits.

*Key words:* nonconventional identification; regime parameters; average speed of water; profile of relative speed of water; distribution of a relative turbidity of a stream; average value of a relative turbidity of water; diffusive and gravitational theories.

**Введение.** Метод нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков в систематическом плане впервые изложен в работе [1]. Представляет интерес возможная трансформация указанного метода в случае частично изученных открытых водотоков, т. е. в условиях дефицита исходной информации.

В качестве упомянутых объектов нами были выбраны каналы Туш (трапецеидальная форма поперечного сечения, заложение откосов  $m_0 = 3$ ), Меркенский (прямоугольное сечение,  $m_0 = 0$ ) и лабораторная установка ( $m_0 = 0$ ) – данные В.Ф. Талмазы и Г.Н. Романенко [2].

В этой работе исследовался гидравлический режим потока, но в ней отсутствует информация о наносном режиме указанных объектов и среднеинтегральных профилях скорости воды.

В связи с этим необходима предварительная реконструкция исходных данных, заключающаяся в формировании среднеинтегральных распределений скорости на основе имеющихся в [2] изолиний местной скорости воды в поперечных сечениях указанных объектов<sup>1</sup>.

Кроме того, в связи с отсутствием в работе [2] сведений о наносных характеристиках, все, что касается наносного режима этих водотоков, будет носить прогнозный характер.

Логическая цепочка видоизмененного метода примет вид

$$\bar{u} \rightarrow \tilde{u}(\tilde{y}) \rightarrow \tilde{S}(\tilde{y}) \rightarrow \tilde{S}_{cp}, \quad (1)$$

отличающийся наличием пунктирных квадрата и прямоугольника, которые отвечают предварительной реконструкции исходных данных и прогнозированию.

Структурная блок-схема метода нетрадиционной идентификации режимных параметров частично изученных открытых водотоков соответствует логической структуре (1).

---

<sup>1</sup> Подобная реконструкция методом “скорость-площадь” осуществлена нами в работе [3].

Таблица 1 – Исходная информация для нетрадиционной идентификации  $\bar{u}^3$  частично изученного открытого водотока (реконструкция данных В.Ф. Талмазы и Г.Н. Романенко)

Створ	H, м	$\tilde{\Delta}$	$\frac{1}{\tilde{\Delta}} = H/d$	$u_m$ , м/с	$C_1$ , м <sup>1/2</sup> /с	$C_2$ , м <sup>1/2</sup> /с	$C_{cp}$ , м <sup>1/2</sup> /с	$u_*$ , м/с	$\bar{u}^3$ , м/с
Канал Туш									
3	0,43	0,02	50	6,43	74	43	58,5	0,219	5,19
13	0,61	0,018	55,6	8,20	96	44,5	70,25	0,237	7,29
15	0,17	0,024	41,7	3,86	52	41	46,5	0,188	3,14
25	0,17	0,02	50	3,72	48	43	45,5	0,188	2,89
38	0,17	0,018	55,6	3,82	54	44,5	49,25	0,188	3,22
ср.	0,3±0,2	0,020±0,002		5±2			54±8	0,20±0,02	4±2
Меркенский подпитывающий тракт									
б)	0,52	0,009	111,1	5,80	42	47	44,5	0,41	5,55
в)	0,21	0,01	100	3,94	44	46	45	0,26	3,69
ср.	0,4±0,2	0,010±0,001		5±1			44,8±0,2	0,3±0,1	5±1
Лабораторная установка									
г)	0,06	0,019	52,6	0,88	32	44	38	0,08	0,77
д)	0,05	0,02	50	0,57	25	43	34	0,07	0,56
ср.	0,06±0,01	0,020±0,001		0,7±0,2			36±2	0,08±0,01	0,7±0,1

Состав матрицы аналитических данных (МАД), матрицы ограничений и дополнительных условий (МОДУ) такой же, как и в случае изученного водотока [1], а состав матрицы исходных данных (МИД) конечно, отличается от использованной в работе [1].

Таким образом, первое отличие нашей схемы заключается в появлении блока реконструкции исходных данных, предшествующего МИД. Первые три уровня идентификации (по линии фильтров I, II, III) остаются в силе: проводим соответствующие расчеты, сравнение эмпирических и расчетных параметров и отсортировку тех расчетных профилей скорости (РПС) и соответствующих эмпирических условий (СЭУ), которые удовлетворяют ограничениям I, II, III. Затем начинается прогнозная часть идентификации, связанная с отсутствием каких-либо наносных характеристик выбранных объектов: производим расчеты распределений относительной мутности по глубине потока и средней относительной мутности воды.

В качестве исходных данных примем данные таблицы 1. В ней коэффициент Шези вычисляется как полусумма двух коэффициентов: первого – определенного по формуле Шези, и второго – определяемого через геометрическую шероховатость.

**Звено I.** На этой стадии рассчитываем значения средней скорости воды для реконструированных данных. Полученные значения сравниваем с эмпирическими величинами. Выделяем расчетные значения  $\bar{u}^p$ , которые дают отклонения от  $\bar{u}^3$ , удовлетворяющие ограничению  $\Delta \bar{u}^{3-p} \leq 10\%$ .

В результате получены 44 варианта данных, соответствующих выделенному ограничению.

**Звено II.** На этом этапе анализа для каждого рекомендованного опыта производим вычисления  $\tilde{y}_i^p(\tilde{y}_i)$  для каждой координаты  $\tilde{y}_i$  по соответствующему расчетному распределению. Далее находим отклонения  $\Delta \tilde{y}_i^{3-p}(\tilde{y}_i)$  и в пределах конкретного опыта проводим усреднение указанных отклонений. Полученные  $\Delta_{cp} \tilde{y}^{3-p}(\tilde{y})$  проверяем на выполнение ограничения ( $\leq 20\%$ ).

В положительном случае рассмотренный опыт и соответствующий расчетный профиль скорости оставляем для дальнейшего анализа, в отрицательном – отсеиваем их. Подобные операции повторяем для всех 44 вариантов.

В результате получаем массив из 36 рекомендуемых вариантов.

**Звенья I+II.** На этой фазе анализа рассчитываем сумму отклонений

$\sum_{\Delta} = \Delta \bar{u}^{\alpha-p} + \Delta_{cp} \bar{u}^{\alpha-p}(\bar{y})$  для каждого из 36 рекомендованных вариантов массива. Вводим ограничение  $\sum_{\Delta} \leq 30\%$ . Предыдущие 36 вариантов автоматически удовлетворяют этому ограничению. При этом имеем богатый выбор РПС и СЭУ (в рамках упомянутого ограничения). Например, параболический ( $\sum_{\Delta} \approx \pm 7 \dots 14\%$ ), логарифмический ( $\pm 3 \dots 18\%$ ) профили и распределение скорости К. Загустина удовлетворяют условиям всех пяти створов канала Туш.

Кроме того, необходимо привлечь данные по опыту створа 38 (Тэйлор-1) канала Туш ( $\sum_{\Delta} = \pm 22,7\%$ ), который ранее был отсеян нами, но его необходимо рассматривать вместе с данным массивом, так как здесь, несмотря на превышение  $\Delta_{cp} \bar{u}^{\alpha-p}(\bar{y})$  принятого нами ограничения, суммарное отклонение оказывается  $< 30\%$ .

**Звено III.** Здесь собственно начинается прогнозная часть анализа, т. к. в первоисточнике [2] отсутствует информация о наносных характеристиках для выбранных частично изученных открытых водотоков.

Поскольку рассматриваемые объекты находятся вне зоны влияния соответствующих гидротехнических сооружений, т. е. можно заключить, что потоки воды в них прошли двухэтапную очистку от наносов.

Известно (см. например [4]), что в каналы оросительных систем попадают взвешенные наносы диаметром  $\leq 0,5$  мм. Поэтому логично предположить, что в рассматриваемых объектах транспортируются взвешенные наносы со средним диаметром  $\bar{d} = 0,5$  мм. Для такого случая, при необходимости, можно использовать их фракционный состав, подобный установленному в работе [5, с. 118].

Для всех 37 рекомендованных вариантов (с присоединенным опытом в створе 38 канала Туш (профиль мутности Тэйлора–1)) рассчитываем (по отобраным расчетным распределениям и соответствующим эмпирическим условиям) прогнозируемые распределения относительной мутности воды (рисунок 1, в котором приведены только некоторые варианты).

Выявлены следующие отличительные особенности указанных распределений:

- **обычное** для диффузионной теории наличие на поверхности потока конечного значения мутности воды (от 0,14 до 0,3 (канал Туш, В.М. Маккаеве); от 0,26 до 0,55 (канал Туш) и от 0,27 до 0,42 (канал Меркенский) – Доу Го-жень; от 0,08 до 0,2 (канал Меркенский, Тэйлор–2));
  - **обычная** для гравитационной теории нулевая мутность воды на поверхности потока (канал Туш, Е.В. Клевцов).
- В то же время установлены противоречивые данные:
- **необычные** для диффузионной теории нулевые значения мутности воды на поверхности потока (Доу Го-жень (лабораторная установка); К. Загустин, Карман, Тэйлор–1 (все для канала Туш); Карман (канал Меркенский, лаб. установка); Тэйлор–2 (лаб. установка));
  - **необычные** для гравитационной теории конечные значения мутности на поверхности потока (от 0,3 до 0,55 (канал Туш) и 0,3 (канал Меркенский) – М.А. Великанов).

Создается впечатление, что зыбкая грань между обеими теориями на рассматриваемых объектах при соответствующих эмпирических условиях (например, по наносам:  $\bar{d} = 0,5$  мм,  $\bar{w} = 0,0524$  м/с) исчезает, и обе теории дают взаимосогласованные и взаимопротиворечивые результаты.

Подобное утверждение требует, более тщательного исследования и анализа.

**Звено IV.** На этом этапе анализа необходимо оценить прогнозируемое значение средней относительной мутности воды для всех 37 рекомендованных вариантов данных.

Анализ ограничений применимости диффузионной схемы расчета наносных характеристик ( $G_{\max} \leq 0,25$ ;  $\varepsilon_{\max} \leq 2,8$ ;  $C_{\max} \leq 38 \text{ м}^{1/2} / \text{с}$ ) показывает, что все варианты, относящиеся к диффузионной теории, должны быть исключены из рассмотрения: каналы Туш и Меркенский удовлетворяют условиям по  $G_{\max}$ ,  $\varepsilon_{\max}$  (для них  $G_{\max} = 0,04 \dots 0,11 < 0,25$ ;  $\varepsilon_{\max} = 0,72 \dots 1,40 < 2,8$ ), но противоречат ограничению по  $C_{\max}$  ( $C_{\max} = 44 \dots 70 \text{ м}^{1/2}/\text{с} > 38 \text{ м}^{1/2}/\text{с}$ ); опыты на лабораторной установке вписываются в условие по  $C_{\max}$  ( $C_{\max} = 34 \dots 38 \text{ м}^{1/2}/\text{с} \leq 38 \text{ м}^{1/2}/\text{с}$ ), но выходят за рамки ограничений по  $G_{\max}$ ,  $\varepsilon_{\max}$  ( $G_{\max} = 0,40 \dots 0,55 > 0,25$ ;  $\varepsilon_{\max} = 4,5 \dots 5,6 > 2,8$ ).

Теперь в нашем распоряжении остается массив из 8 вариантов данных, относящихся к гравитационной теории:

- Канал Туш – створы 3 ( $\sum_{\Delta} = \pm 15,7\%$ , распределение мутности М.А. Великанова;  $\pm 17,7\%$ , Е.В. Клевцов), 13 ( $\pm 3,3\%$ , М.А. Великанов), 15 ( $\pm 12,0\%$ , М.А. Великанов), 25 ( $\pm 17,8\%$ , М.А. Великанов;  $\pm 19,0\%$ , Е.В. Клевцов), 38 ( $\pm 14,6\%$ , М.А. Великанов);
- Канал Меркенский – створ “в” (23,6%, М.А. Великанов).

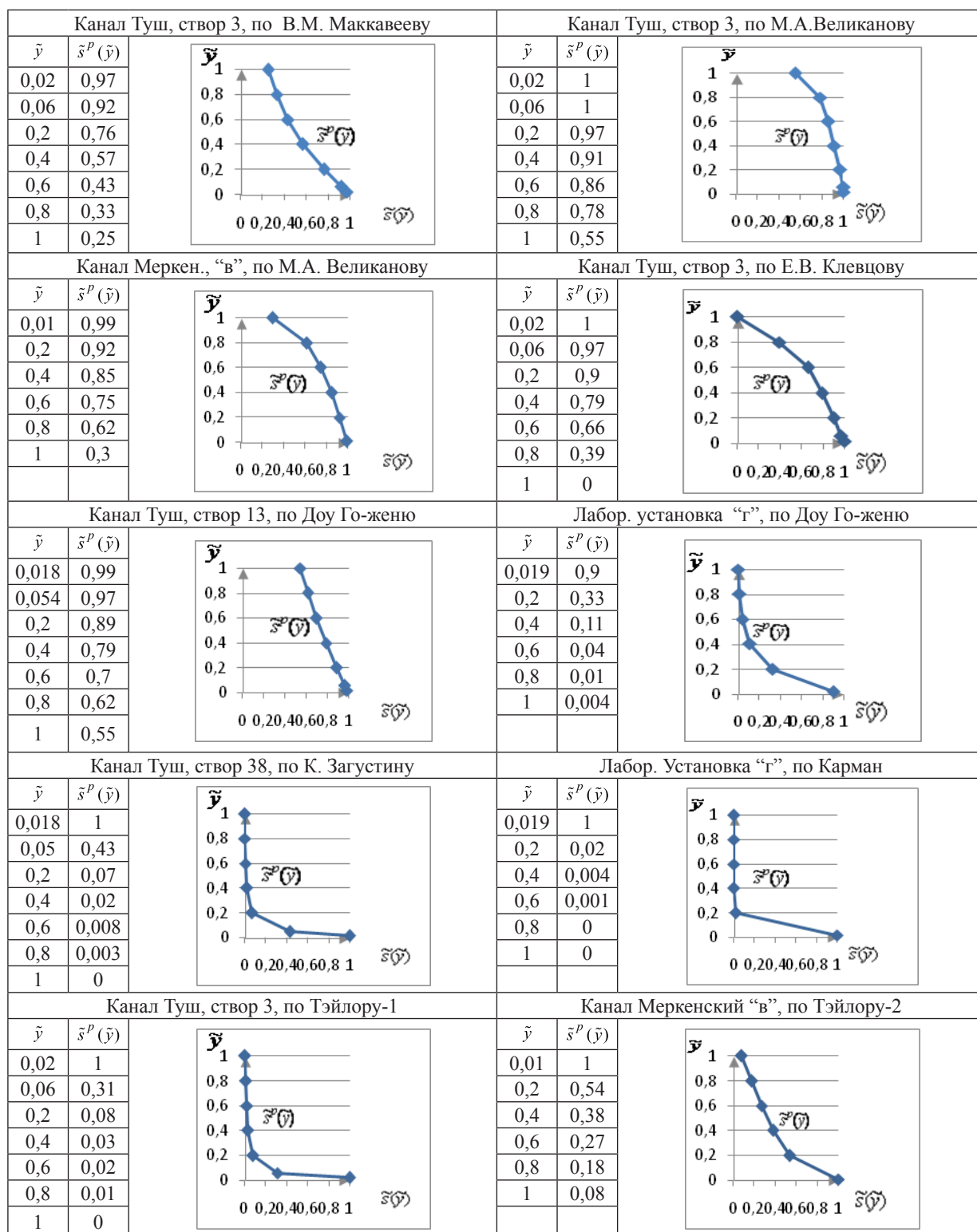
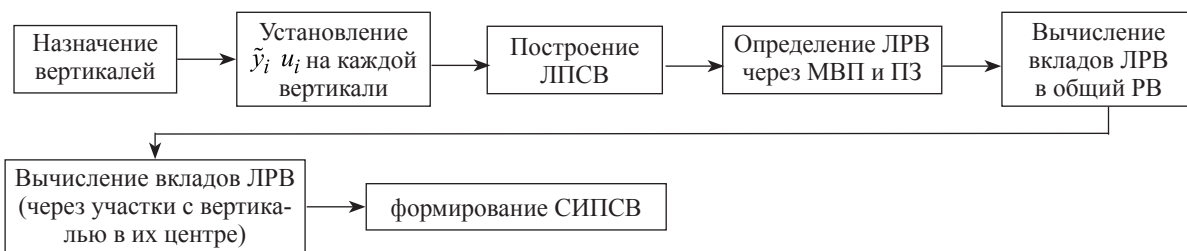


Рисунок 1 – Прогнозируемые распределения относительной мутности воды для частично изученного открытого водотока (после применения звеньев (I, II, III) логической цепочки (1))

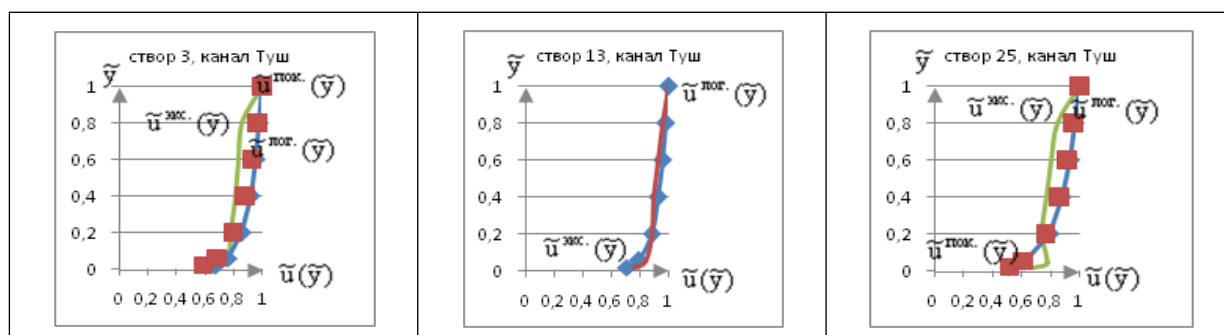
Реконструкция данных (метод “скорость-площадь”)



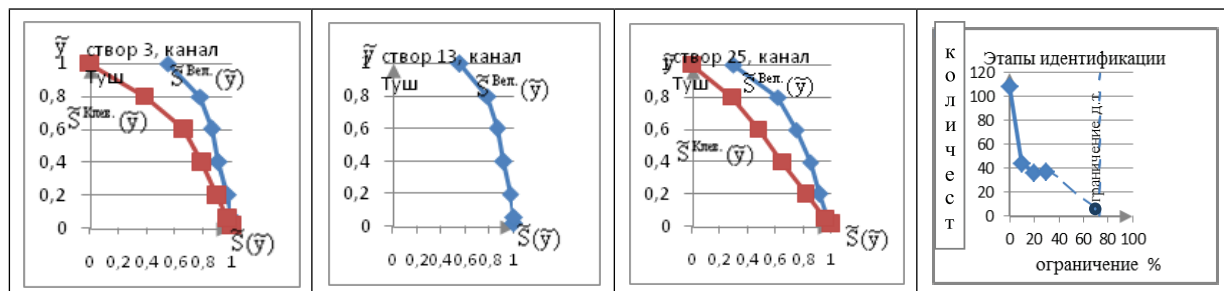
Исходные данные

Створ	Q, м <sup>3</sup> /с	i	H, м	$\tilde{\Delta}$	$\bar{u}$ , м/с
3	3,68	0,035	0,43	0,02	5,19
13	9,80	0,035	0,61	0,018	7,29
25	0,44	0,035	0,17	0,02	2,89

Идентифицированные распределения скорости воды



Прогнозируемые распределения мутности воды



Показатели (%) идентификации

Створ	I этап	II этап	III этап	
3	$\Delta \bar{u}^{-p} = -7,9$ (лог.) $\Delta \bar{u}^{-p} = 9,4$ (пок.)	$\Delta_{cp} \tilde{u}^{2-p}(\tilde{y}) = \pm 7,8$ (лог.) $\Delta_{cp} \tilde{u}^{2-p}(\tilde{y}) = \pm 8,3$ (пок.)	$\sum_{\Delta} = \pm 15,7$ (лог.) $\sum_{\Delta} = \pm 17,7$ (пок.)	
13	$\Delta \bar{u}^{-p} = -0,1$ (лог.)	$\Delta_{cp} \tilde{u}^{2-p}(\tilde{y}) = \pm 3,2$ (лог.)	$\sum_{\Delta} = \pm 3,3$ (лог.)	$\tilde{S}_{cp}^n = 0,555 \pm 0,001$
25	$\Delta \bar{u}^{-p} = -3,8$ (лог.) $\Delta \bar{u}^{-p} = 6,6$ (пок.)	$\Delta_{cp} \tilde{u}^{2-p}(\tilde{y}) = \pm 14,0$ (лог.) $\Delta_{cp} \tilde{u}^{2-p}(\tilde{y}) = \pm 12,4$ (пок.)	$\sum_{\Delta} = \pm 17,8$ (лог.) $\sum_{\Delta} = \pm 19,0$ (пок.)	

Рисунок 2 – Визитная карточка частично изученного открытого водотока (канал Туш)

Проверяем эти оставшиеся данные на выполнимость ограничений применимости I варианта гравитационной схемы расчета наносных характеристик. Все рассмотренные данные удовлетворяют принятому ограничению (для них отношение  $u^3 / w \cdot g \cdot H = 2,8 \cdot 10^2 \dots 1,2 \cdot 10^3 > 2$ ).

Сделаем следующие замечания: во-первых, второй вариант гравитационной схемы оценки наносных характеристик нельзя ни проверить его применимость к нашим данным, ни тем более рассчитать количественные характеристики в связи с отсутствием для анализируемых объектов информации о корреляционном моменте взвесенесущего потока воды; во-вторых, из 8 предложенных к оценке вариантов данных нам приходится исключить опыт в створе “в” канала Меркенского, для которого суммарное отклонение по двум показателям ( $\Delta \bar{u}^{j-p}, \Delta_{cp} \bar{u}^{j-p}(\bar{y})$ ) является положительной величиной, т. е. отклонение расчета от эксперимента носит систематический характер.

Итак, к расчету представлены 7 вариантов данных (из них 5 по М.А. Великанову, 2 – по Е.В. Клевцову) для канала Туш. Прогнозируемая средняя относительная мутность воды для наших случаев составляет  $\bar{s}_{cp}^n = 0,555 \pm 0,001$ .

Результаты нетрадиционной идентификации режимных параметров частично изученного открытого водотока приведены на рисунке 2 (для 5 из 7 вариантов данных).

Таким образом, показан принцип реализации нетрадиционной идентификации режимных параметров частично изученных открытых водотоков. Получена визитная карточка идентифицированного объекта, позволяющая обоснованно выбрать и назначить технологический режим очистки воды от взвешенных наносов.

#### *Литература*

1. *Пресняков К.А.* Структура метода нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков / К.А. Пресняков, Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева // Матер. IX Межд. симп. “Фундаментальные и прикладные проблемы науки”. М.: РАН, 2014.
2. *Талмаза В.Ф.* Распределение осредненных скоростей в бурных потоках / В.Ф. Талмаза, Г.Н. Романенко // Вопросы водного хозяйства (гидротехника). Фрунзе: Кыргызстан, 1972. Вып. 26. С. 99–109.
3. *Пресняков К.А.* Установление среднеинтегрального профиля скорости воды частично изученного открытого водотока на основе реконструкции эмпирических данных / К.А. Пресняков, Г.К. Керимкулова // Проблемы автоматизации и управления. Бишкек: Илим, 2012. № 2. С. 47–56.
4. *Пресняков К.А.* Разработка гидроавтоматических устройств и методов идентификации, моделирования процессов очистки воды от наносов: автореф. ... дис. д-ра физ.-мат. наук / К.А. Пресняков. Бишкек: ИАИИТ НАН КР, 2010. 51 с.
5. *Пресняков К.А.* Разработка технических средств и устройств гидроавтоматики для очистки воды от наносов / К.А. Пресняков; под. науч. ред. д-ра техн. наук, проф., акад. НАН КР Ж.Ш. Шаршеналиева. Бишкек: Илим, 2009. 306 с.