



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрометрии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

**Расчет полей скоростей для  
различных форм русла**

На тему

Исполнитель

Тюленёва Екатерина Юрьевна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

(ученая степень, ученое звание)

**Гаврилов Илья Сергеевич**  
(фамилия, имя, отчество)

Научный  
консультант

Доцент

(ученая степень, ученое звание)

**Исаев Дмитрий Игоревич**  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

ДОЦЕНТ

(ученая степень, ученое звание)

**Исаев Дмитрий Игоревич**  
(фамилия, имя, отчество)

«10» июля 2019 г.

Санкт-Петербург  
2019



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрометрии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

(бакалаврская работа)

На тему: «Расчёт полей скоростей для различных форм русла»

**Исполнитель:** Тюленёва Екатерина Юрьевна

(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель:**

«К защите допускаю»

**Заведующий кафедрой**

---

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

(учёная степень, учёное звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

«\_\_»\_\_\_\_\_20\_\_г.

Санкт-Петербург

2019

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	
1 Физико-географический очерк района исследований	
1.1 Описание р.Вильня и её поста	
1.2 Описание р.Шешупе и её поста	
2 Распределение скоростей в естественных русловых потоках	
2.1 Влияние формы сечения русла на профиль осреднённых скоростей русловых потоков	
2.2 Средняя скорость руслового потока	
2.3 Распределение скоростей по сечению руслового потока	
3 Изгиб руслового потока	
3.1 Центростремительное и кориолисово ускорения, их влияние на течение воды в открытых руслах. Принцип отражения и возможности его применения у расчёту полей скоростей руслового потока на изгибе	
3.2 Экспериментальные исследования гидравлики потоков в жестких криволинейных руслах	
4 Методика расчёта А.В.Караушева	
5 Расчётная часть	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	

## ВВЕДЕНИЕ

## 1 Физико-географический очерк района исследований

Литовская республика – страна, разместившаяся в северо-восточной части Европы. Поверхность в основном равнинная, 55% суши занимают поля и луга, а леса и кустарники - 32%, остальное – водные объекты. Богата многочисленными озёрами и реками.

Большая часть рек Литовской республики имеют разветвлённую систему и относятся к бассейну Балтийского моря.

Наиболее крупными реками являются: река Швянтойи (самый большой приток Вилии), река Вилия (охватывает границы республики Беларусь и Литовской республики), река Вента (долина которой протекает по территории республики Литва и республики Латвия), река Невяжис и река Шешупе (последняя охватывает несколько государственных площадей).

В данной работе мы будем рассматривать только две реки : Вильня, створ которой находится в деревне Сантакай, и Шешупе гидрометрический створ в посёлке Долгое.

## 1.1 Описание р.Вильня

Вильня — водный объект, протекающая в Литовской республике и республике Беларусь.

Берёт своё начало к северу от посёлка Кимяны в Опшмянском квартале. На протяжении 14 км стремится по рубежу Опшмянского и Островецкого кварталов республики Беларусь и республики Литва, а затем течёт по регионам последней. Впадает в протоку Вилию (Нярис, лит Neris) в мегаполисе Вильнюс. Протяженность водного объекта — 80.1 км, площадь водосборного бассейна — 623 км<sup>2</sup>. Среднегодовой расход воды в низовьях — 5,33 м<sup>3</sup>/с. Название водного объекта исходит от глагола *villnyti* (возвышаться рябью, протекать рябью), существительного *villnis* (рябь, гребень). Обновленная, в разговорной речи неофициальная модель исполнения *Villnelė* обозначает уменьшительно-ласкательную форму, потому что водный объект маленький. Вильня течёт по Вильнюсскому округу, левый водоприток Няриса. Около 13 км течет по границе Литовской республики и республики Беларусь на север, в первой поворачивает на северо-запад, после впадения в водный объект Таурия на юго-запад. Впадает в водный объект Нярис 165 км от её устья, в г. Вильнюс.

Ширина русла в верховьях 5-6 м, в среднем течении и в низовьях 11-14 м. Преобладающая глубина 0,3-0,8 м. Средний уклон 154 см/км. В верховьях река течет по болотистой впадине (сквозь трясину Янкушкую и Маргую). Ближе к верховью русло реки постепенно начинает углубляться. В низовьях уклон гораздо больше, река приобретает свойства горной: в отрезке 11 км до устья уклон 410 см/км. Берега в этом районе обрывистые, красочные. Расход воды в д. Сантакай (59 км до устья): максимальный 18,4 м<sup>3</sup>/с, средний 1,86 м<sup>3</sup>/с, минимальный летом 0,074 м<sup>3</sup>/с, минимальный зимой 0,43 м<sup>3</sup>/с. Расход воды в г. Вильнюс (2 км до устья): максимальный 131 м<sup>3</sup>/с, средний 5,76 м<sup>3</sup>/с, минимальный летом 0,69 м<sup>3</sup>/с, минимальный зимой 0,38 м<sup>3</sup>/с. Весной по реке в Вильнюсе стекает 42%, летом 24%, осенью 25%, зимой 19% всего годового

стока. Годовая отклонение колебания уровня воды 1,9 м. Река очень хорошо подпитывается грунтовыми водами.

р.Вильня - д.Сантакай

Пост расположен в 1.6 км выше впадения р.Кены. Долина реки трапецеидальная шириной 120-170 м, с пологими склонами, сложенными супесями. Верхняя часть левобережного склона поросла сосновым лесом.

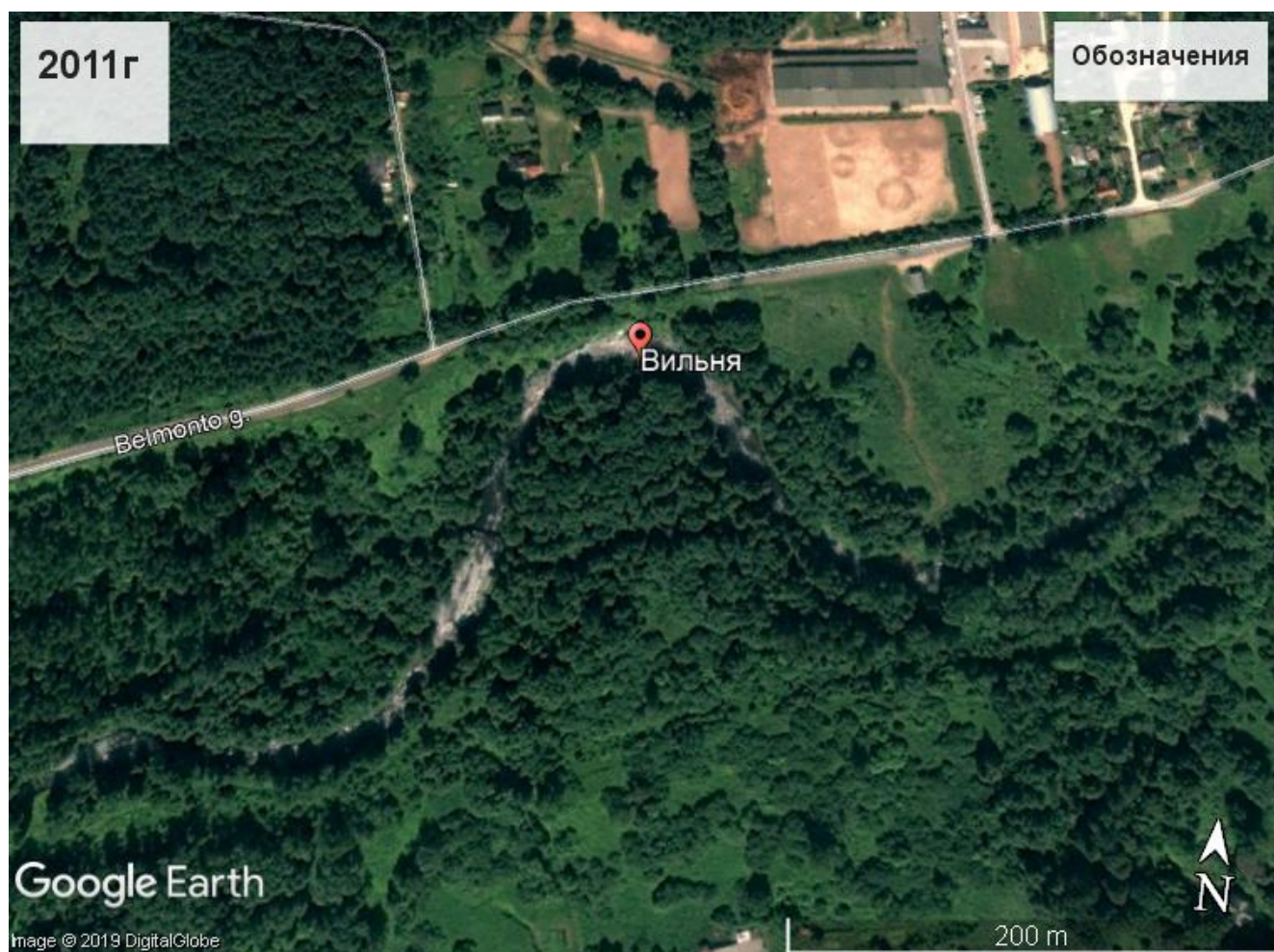
Пойма двусторонняя шириной 20-80 м, чередующаяся по берегам, ровная, торфяная, местами поросшая кустарником, ниже створа заболочена, затопляется при уровне 200 см. Долина водного объекта канализирована, песчаное, деформирующееся, летом берега покрываются растительностью. Берега обрывистые 1.0-1.5 м, торфянистые.

Ледостав неустойчивый, в зимнее время начинаются заторы. На термический режим оказывают влияние выходы грунтовых вод. В отдельные периоды года уровенный режим реки искажается сбросами воды из водохранилища рыбного хозяйства, расположенного выше створа. Пост речечно-свайный, находится на левом берегу. Отметка нуля поста 156,86 мБС.

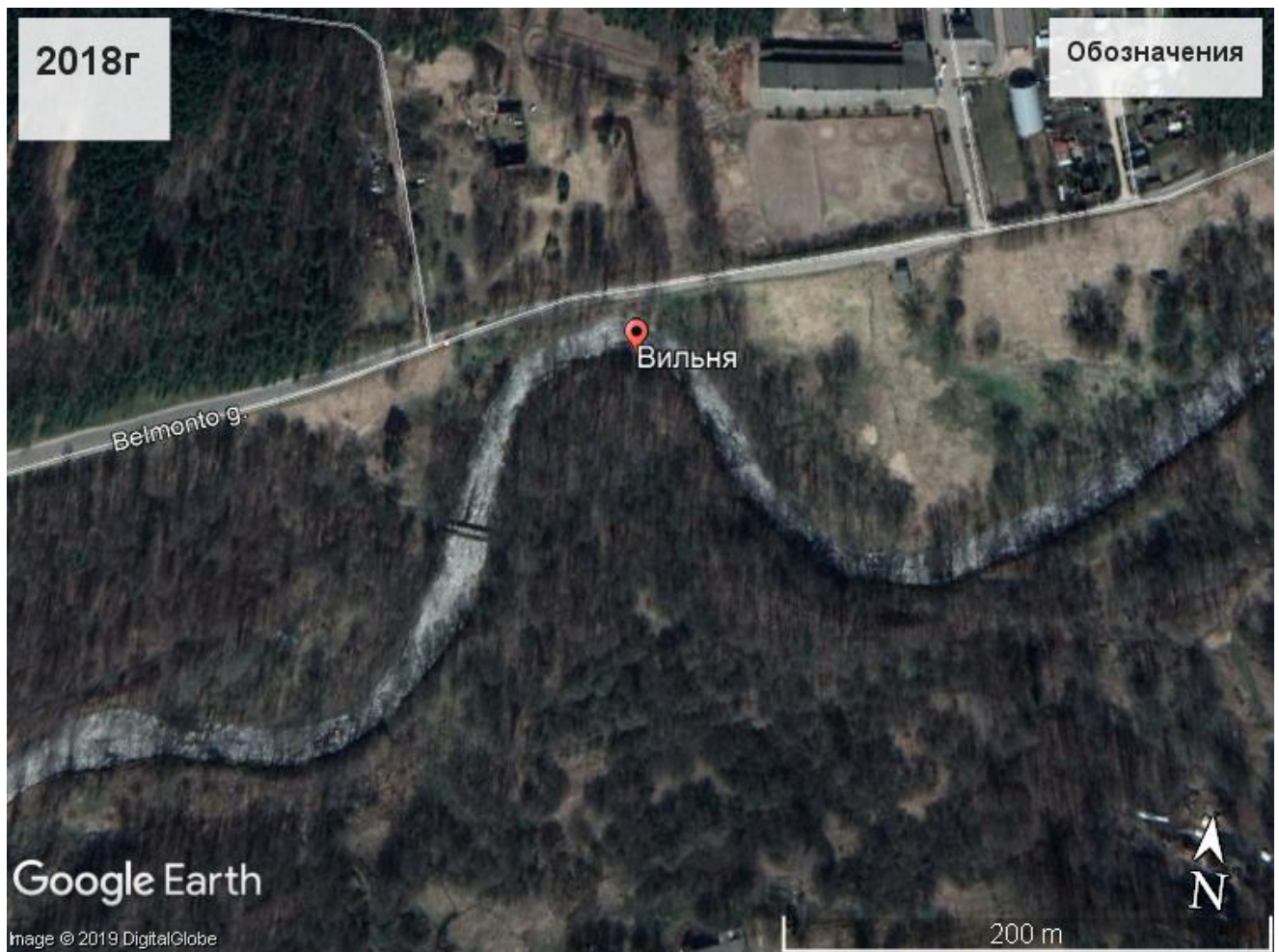
Гидроствор No3 расположен в 18 м ниже поста, расходы измеряются с кладки. Гидроствор No2 из оборудования поста исключен. Температура воды измеряется в створе поста на середине реки. До 26.07.1957 г. пост находился в 1.3 км, а с 27.07.1957 г. по 31.08.1958 г. - в 100 м ниже существующего. Для получения однородного ряда к уровням периода 27.07.1957 - 31.08.1958 гг. надо прибавить 243 см, а к уровням периода 01.09-31.12.1958 г. - 235 см. Уровни воды с 26.07.1957 г. в предыдущими не увязаны. Вследствие спрямления и углубления русла на участке поста с 05.09.1978 г.

однородность уровня ряда нарушена вторично, уровни с предыдущими несравнимы.

С помощью приложения Google Earth Pro мы обозначили место нашего створа на реке по описанию из книги ежегодных данных о режиме и ресурсах поверхностных вод суши.







## 1.2 Описание р.Шешупе

Шешупе -

водный объект в республике Польша (берёт своё начало), далее протекает по республике Литва и Российской Федерации, левый водопристок реки Неман. Некоторый участок реки относится к пограничному между Россией и Литвой. Есть две версии наименования реки - Черная и Шерстиречь.

Протяженность водного объекта 301 км (30 км на регионах Польской республики, 161 км -

Литовской республики, 59 км Российской Федерации, и чуть более 52 км водного объекта затрагивает рубеж между последними странами), площадь водосбора 6096,4 км<sup>2</sup>.

Начинается в Балтийском море в 19 км западнее региона Сувалки в Польше. Высота устья — 6 м над уровнем моря.

Преобладает дождевой тип питания реки. Среднегодовой расход воды — в 44 км от устья 34,6 м<sup>3</sup>/сек. Вскрытие реки начинается в апреле, а застывает в начале декабря, в зимний период временами вскрывается и происходит ледоход.

Вода в реке считается ничтожно загрязнённой. Её качество связано с промышленными работами, хозяйственно-бытовым и сельскохозяйственным трудом. Длина водотоков в Калининграде более 5000 км, а значение основных достигает 340. Речная долина имеет меандрированные очертания, довольно развилыстые. В долине более 50 островов протяженностью до 1 м, а в диаметре до 20. Плесы и перекаты зачастую 160-280м. Скорость течения на первых 0,2 м/с, на вторых до 0,5 м/с. В ноябре начинается ледостав, а вскрытие происходит в конце марта.

Территория вокруг водного объекта очень живописная с густыми лугами и лесами. Эти места радуют отдыхающих и трудящихся.

#### р.Шешупе-с.Долгое

Пост расположен в селе, в 4.0 км ниже г.Краснознаменска.

Прилегающая местность – слабовсхолмленная облесенная равнина.

Долина реки трапецеидальная, склоны крутые, высотой: левый 23 м, правый 15 м, сложены суглинками, открытые.

Пойма левобережная шириной 50-80 м, высокая, луговая, начинает затопляться при уровне 580-600 см.

Русло реки умеренно извилистое, песчано-каменистое, слабдеформирующееся, с крутыми суглинистыми берегами высотой 3-5 м, местами заросшими кустарником, лето зарастает водной растительностью.

В зимний период на участке поста образуются зажоры, а в отдельные годы – заторы льда.

Пост свайный, находится на левом берегу. Временный самописец уровня воды «Валдай» снят.

Отметка нуля поста 8,32 мБС.

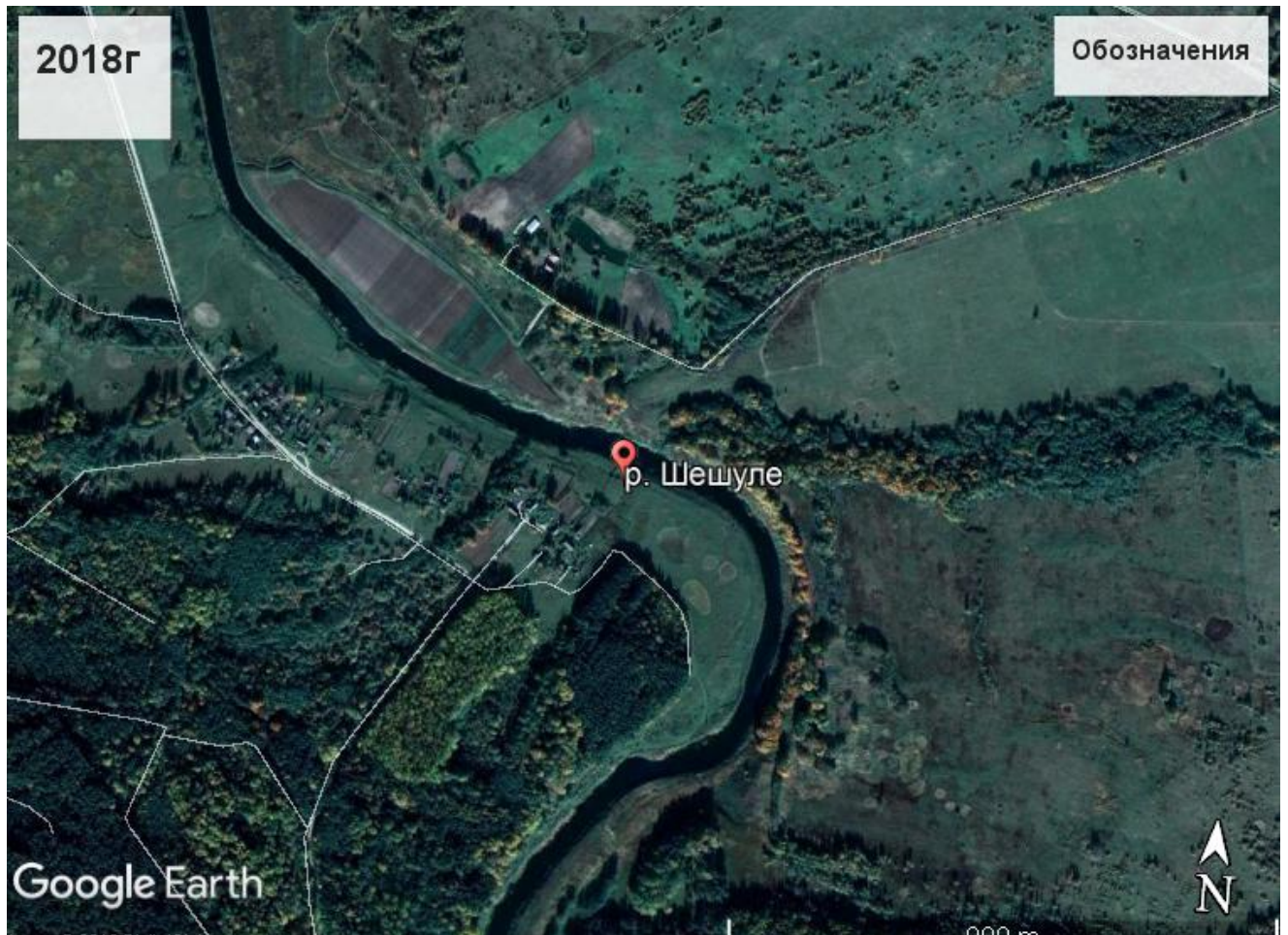
Гидроствор №I совмещен с постом и оборудован дистанционной гидрометрической установкой ГР-70, №2 (меженный)- в 350 м ниже, расходы измеряются с лодки.

Температура воды измеряется в створе поста у берега, толщина льда - на середине реки.

## 2 Распределение скоростей в естественных русловых потоках

С помощью приложения Google Earth Pro мы обозначили место нашего створа на реке по описанию из книги ежегодных данных о режиме и ресурсах поверхностных вод суши.





## 2.1 Влияние формы сечения русла на профиль осреднённых скоростей русловых потоков

Основными факторами, определяющими характер распределения скоростей в русловых потоках, являются форма поперечного сечения русла и характер распределения шероховатости по ширине и длине русел и пойм. Учитывая, что створы измерений обычно располагают на узких участках, где шероховатость русла по ширине створа изменяется незначительно, а ее влияние особенно резко проявляется на поймах. Рассмотрим важность воздействия формы сечения на скоростное поле руслового потока и его пропускную способность. Формы сечений естественных русел довольно разнообразны и сложно поддаются алгебраическому описанию. В первом приближении их можно подразделить на простые и сложные (составные).

К первым относится большинство меженных речных русел, характеризующихся плавным изменением глубины и имеющих ширину, намного большую глубины. Поэтому, их заменяем на сечение прямоугольной формы. Ко вторым относятся составные русла, в отдельных частях которых наблюдается резкое изменение глубин. Редким событием таких русел являются русла с одной или двусторонней поймами, в которых при слиянии руслового и пойменного потоков на рубеже раздела возникают дополнительные сопротивления из-за различия значений скоростей, снижающие пропускную способность руслового отсека и потока в целом. Г. В. Железняков назвал этот процесс кинематическим эффектом, возникающим при взаимодействии руслового и пойменного течения. Схожие явления происходят, при побочном типе руслового процесса, когда над побочным заметны течение воды, и в руслах с резко различной шероховатостью по ширине.

Влияние формы сечений на пропускную способность русел при равномерном движении потока начали рассматриваться еще в конце XVIII в. Антуан Шези в 1785 г. представил известную в современном мире выражение для ра

счета скоростей равномерных русловых потоков в виде  $V=C\sqrt{RI}$ , указавшую на автора Шези. Он заявил, что оценка влияния формы сечения на скорость потока отражается гидравлическим радиусом, а параметр С относил к постоянным.

Движение воды в руслах прямоугольного сечения имеют различные скорости, и пропускная способность таких русел при различных отношениях ширины к глубине также различна. При решениях этого отношения, меньших 5—

11, наблюдается значительное изменение полей скоростей (по сравнению с полями скоростей при больших отношениях).

В свое время А. А. Маастик, сделал ряд заключений: 1. Нет повторяющейся картины сопротивления движению потока в открытых ровных долинах от формы сечения русла. 2. При возрастании безусловной шероховатости, воздействие формы сечения на коэффициент сопротивления заметно увеличивается в шероховатых руслах, но с увеличением гидравлического радиуса потока при постоянно й шероховатости уменьшается. 3. Воздействие формы сечения обуславливается последующими течениями.

Рассмотрим пути решения, рекомендуемые для оценки воздействия простых форм сечения на пропускную способность естественных русел и каналов.

Гидрометрические створы расположены на прямолинейных участках, потому что только в этих условиях изменение формы сечения русла минимальны по длине потока. Поэтому разнообразны формы поперечных сечений естественных русел (и нет повторяющихся). Значительно изменяется форма сечения естественных русел по долине водотока, что влияет на пропускную способность русла.

М.А.Мостков производил учёт влияния формы сечения с помощью величины и заверил, что можно увеличить пропускную способность русла трапециидальной формы лишь за счёт угла откоса

$$\delta = \frac{R}{\sqrt{F}} = \sqrt{F}/X$$

F- площадь канала (сечения русла); R- гидравлический радиус.



В. Н. Гончаров представил любую форму сечения как симметричной кривой глубин, алгебраической визуализацией которого есть выражение

$$H/H_0 = (b/B)^n$$

$H$  и  $b$  – глубина и половина ширины русла;  $H_0$  и  $B$  – максимальная глубина и половина ширины при максимальном уровне.

Данные коэффициенты имеют узкое использование и результаты зачастую не сходятся с данными экспериментов, поэтому существуют доводы Г.В. Железнякова, где он находит влияние глубины по ширине русла

$$B = \frac{1}{F\sqrt{H_c}} \int_0^B H^{3/2} db$$

Данный критерий не является всесторонним, так как результаты значительно разнятся с данными опытов.

## 2.2 Средняя скорость руслового потока

В конце XVIII Сен-

Венан выдвинул ряд уравнений, описывающих неравномерное неустановившееся движение русловых потоков, представлено в виде

$$I_D - \frac{dh}{dx} = \frac{v|v|}{C^2 h} + \frac{d}{dx} \left( \frac{\alpha k v^2}{2g} \right) + \frac{\alpha' dv}{g dt} + \frac{qv}{gF}$$

$$\frac{dQ}{dx} + \frac{dF}{dt} = q$$

$$I = I_D - \frac{dh}{dx}$$

где  $I$  и  $I_D$  – уклоны поверхности и дна;

Главное значение для водного потока имеет уклон трения, который характеризует сопротивление при одинаковом движении потока (первое значение в правой части уравнения).

Инерционные (последующие представители), за счет неравномерного и неустановившегося движения обозначают уклоны.


Коэффициенты Кариолиса  $\alpha_K$  и Бусинеска  $\alpha'$  показывают прерывистое распределение скорости по сечению потока.

Крайний элемент уравнения регулирует затраты энергии на боковой приток ( $q_L$ ), взаимодействие потоков ( $q_B$ ), регулирование поймы  $q_P$  ( $q = q_P + q_B + q_L$ ).

Если на бесприточном участке реки движение ровное, то 2,3 и 4 значения правой части формулы = 0. Тогда получим  $I = \frac{v|v|}{C^2 h}$ , а затем  $v = C\sqrt{hI}$  уравнение Шези, обозначающее ровный режим беспойменного потока и вычисления средних скоростей на нём.

Можно по формуле Шези вычислить среднюю скорость и для обособленной скоростной вертикали (коэффициент  $C$  рассчитывается по эмпирической формуле).

### 2.3 Распределение скоростей по сечению руслового потока

Данный вопрос изучен не до конца. Существует последовательность расчёта поля скоростей для русла  формы сечения гораздо значительной ширины ( $2B/H > 8-10$ ), где есть допущение, что воздействие боковых стенок на вертикали во всех точках значение скорости получается одинаковым, но тогда оно зависит от глубины, на которой расположена точка для вычисления скорости.

Тем самым, для широких потоков наблюдаемые и расчётные данные (рис 2.3.1) говорят о том, что их результаты практически совпадают. Различия имеются в




пристенных областях (расчётных значений от фактических), а так же, построенные по фактическим значениям изотахи, выделяются слабыми подъёмами и спадами, создающие замкнутые циклы вторичными течениями.



Рис. 2.3.1. Поля скоростей в открытом потоке прямоугольного сечения ( $2B/H \gg 10$ ).

1- экспериментальные данные, 2 – расчётные, 3- вторичные течения.

Заметны более существенные изменения между фактическими и расчётными значениями в руслах  сечения и очень узких (рис 2.3.2)

В природных руслах вычисление полей скоростей гораздо сложнее. Чтобы найти пути решения поставленной цели, нужно найти кривую распределения средних на вертикалях скоростей по всей ширине потока.

А.В.Караушев представил свою версию вычисления средних скоростей по ширине потока и их распределение в долинах легких форм сечения при условии размеренного движения. Выражение Шези можно применить для обособленной вертикали, если в районе её размещения течение совпадает с равномерным  $v_i = C_i \sqrt{h_i I}$ ,  $v_i$ - ср. скорость на вертикали;  $C_i$ - коэффициент Шези;  $h_i$ - глубина на вертикали.

Учитываем выражение Павловского для вычисления показателя Шези получаем

$$v_i = \frac{h_i^{0.5+y} I^{0.5}}{n_i}$$

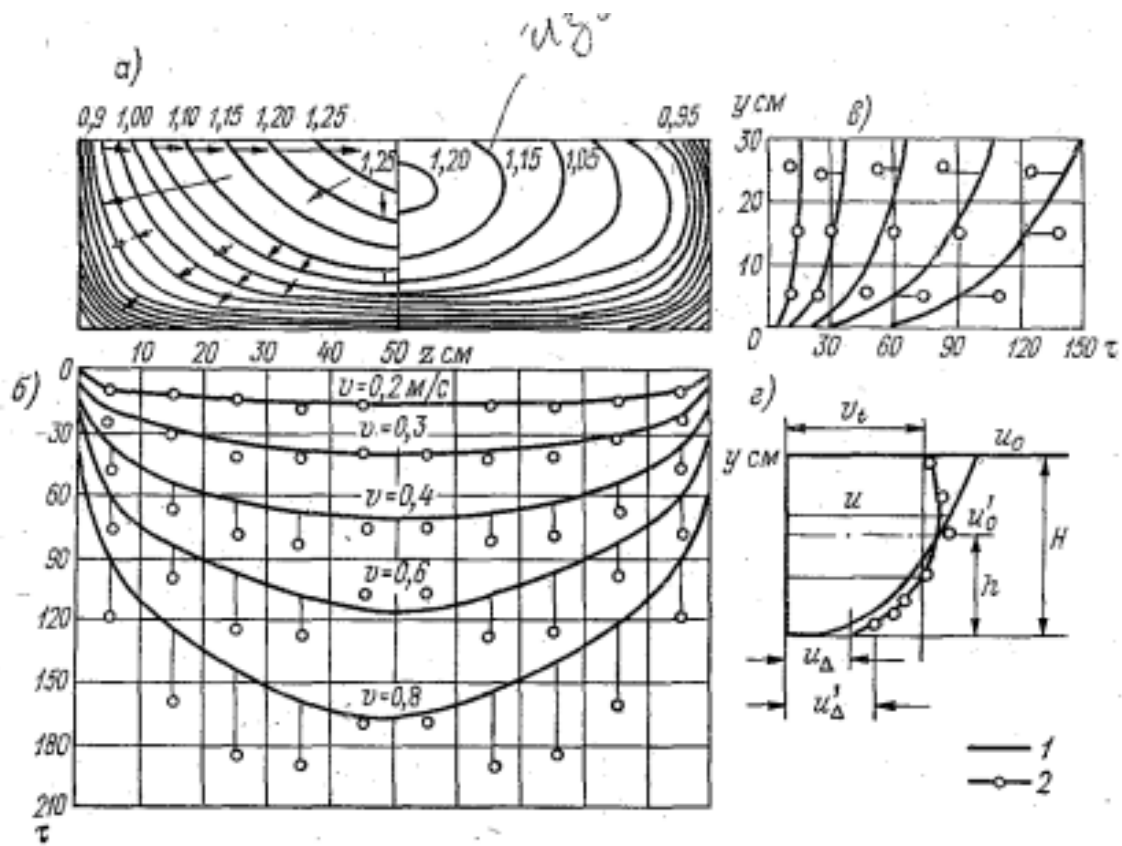


Рис. 2.3.2 Поля скоростей потока и касательные напряжения в открытом прямоугольном сечении по расчётным и экспериментальным данным ( $2B/H < 8$ )

а- поле скоростей, б- поле сопротивлений, в- эпюра распределения сопротивлений по глубине потока, г- эпюра скоростей; 1- расчётные, 2- экспериментальные.

Можно рассчитать расход воды через представленное сечение реки, выяснив  $n_i$  и  $h_i$  по сведениям о грунтах, профиле сечения, таблице постоянных шероховатости и описательных свойствах русла. По ширине потока взять уклон свободной поверхности неизменным, потому что для ровного и прямого участка реки простой формы сечения это приемлемо

$$Q = \sum_{i=1}^m \bar{v}_i f_i = I^{0.5} \sum_{i=1}^c \frac{h_i^{0.5+y}}{n_i} f_i$$

где  $f_i$ - между скоростными вертикалями площадь сечения;  $m$ - количество отсеков, на которое разделено поперечное сечение;  $\bar{v}_i$ - скорость течения между вертикалями (осреднённая).

Принимаем значения, найденные по таблице,  $n_i$ - условными, если мы знаем расход воды по факту, состоявшими с настоящими значениями  $n_i$  в пропорции

$$n_i = \frac{n_{i \text{ усл}}}{k_i}$$

где  $k_i$ - поправочный коэффициент.

Получаем расход воды, вводя  $k_i = k\sqrt{I}$

$$Q = k \sum_{i=1}^m \frac{h_i^{0.5+y}}{n_i} f_i$$

тогда

$$k = \frac{Q}{\sum_{i=1}^m \frac{h_i^{0.5+y}}{n_i} f_i}$$

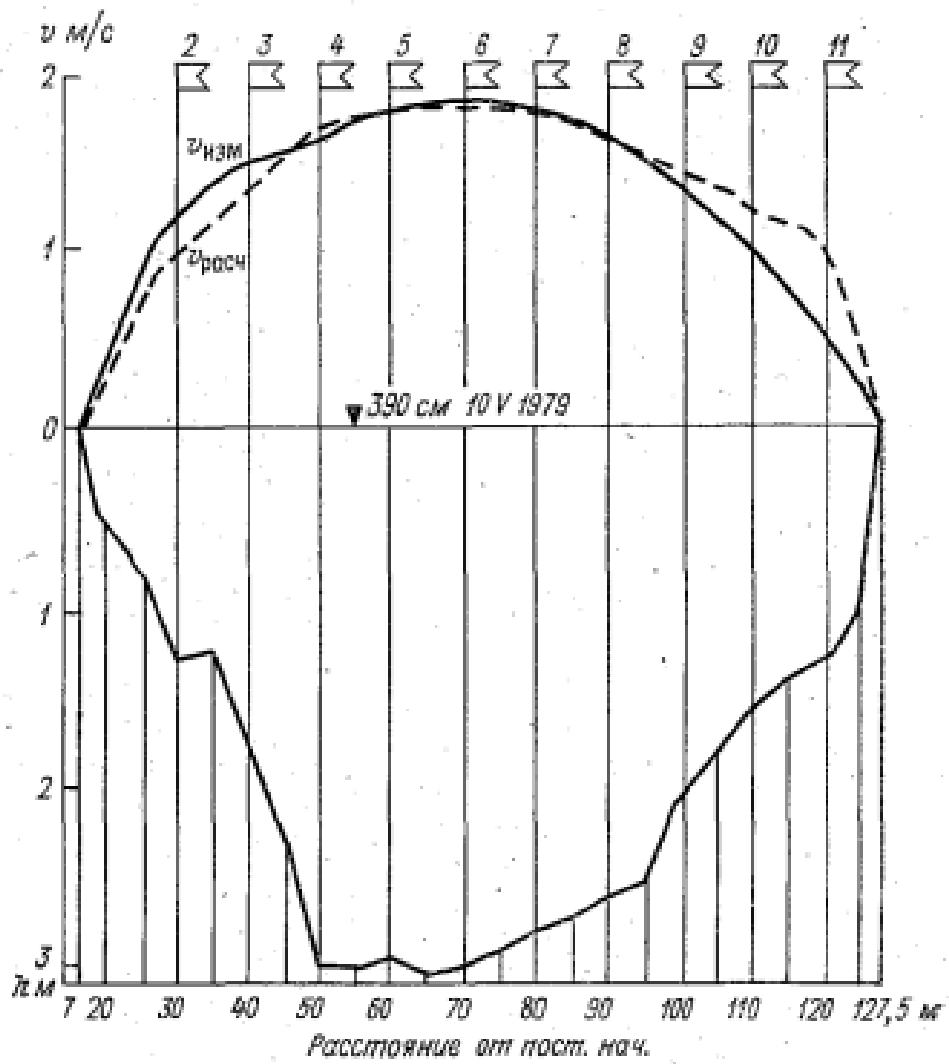
Можем рассчитать средние на вертикалях скорости потока и средние на участках, зная коэффициент  $k$

$$v_i = k \frac{h_i^{0.5+y}}{n_{i \text{ усл}}}$$

по ширине реки строим эпюру их распределения.

В этой методике, как и в любой другой, существуют свои недостатки. Во-первых, она работает только в условиях равномерного режима потока. Во-вторых, турбулентное взаимодействие между смежными отсеками потока и влияние берегов – в ней не учитывается.

На рисунке 2.3.3 можно сделать вывод на основании сопоставления натуральных и расчётных данных. На примере р.Лебедь в с.Усть-Лебедь представлены эпюры распределения скоростей по сечению по данным расчётов и измерений. В целом, расчетная эпюра практически совпадает с полученной по данным измерений и только в прибрежных отсеках существуют отклонения.



Глубина, м	0,55	0,77	1,33	1,22	1,82	2,30	3,02	3,00	2,96	3,05	3,02	2,92	2,81	2,66	2,62	2,47	2,00	1,82	1,58	1,43	1,31	1,00	0,00	
Измеренная скорость, м/с		1,20		1,53		1,58		1,82		1,82		1,78		1,62		1,37		1,03		0,53				
Расчетная скорость, м/с		1,04		1,29		1,67		1,77		1,80		1,71		1,63		1,37		1,17		1,04				

Рис. 2.3.3. Профиль поперечного сечения р.Лебедь у с.Усть-Лебедь и эпюры распределения средних на вертикалях скоростей по ширине потока.

### 3 Изгиб руслового потока

3.1 Центростремительное и кориолисово ускорения, их влияние на течение воды в открытых руслах. Принцип отражения и возможности его применения у расчету полей скоростей руслового потока на изгибе

Самый распространённый тип русла в природе – криволинейные. Даже при свободном, незавершенном или ограниченном меандрировании русла реки в плане образует цикл одиночных излучин, которая соединяется прямолинейными участками или переходит одна в другую. Поэтому создание научно-обоснованных методик расчёта данных параметров, с целью изучения поведения движения потоков в криволинейных руслах, очень важно для нас, как для гидрологов (инженеров).

При вращательном движении, действует две силы: центробежная сила инерции и , обусловленная перепадами давления, центростремительная сила. Первым источником центростремительной силы будет сила от давления на стенку (упругости), затем она уравнивается центробежной силой. Иногда на частицу действует только центростремительная сила, которая и обеспечивает её движение, но тогда система отсчёта является неподвижной.

Мы недостаточно знаем о механизме движения потока на одиночном и сложном изгибе, чтобы выдвинуть теорию и методику для расчёта данных параметров на повороте русла. В лабораторных условиях было выдвинуто две абсолютно разные концепции, основанные на одном и том же материале, которые объясняют особенности движения потоков на изгибе русла.

Первая концепция доведена до объяснимых решений и отлично разработана в теоретическом плане. Поток, проходящий изгиб, движется по криволинейным траекториям, поэтому работает центростремительная сила, которую мы безусловно берём в расчёты.

Вторая концепция была изложена Дюбуа, а затем её дополнил Н.Е.Кондратьев, учтя деформации излучин в практической реализации. Водный поток и его массы бьются о вогнутый берег, а затем отскакивают от него, поэтому соблюдается критерий падения угла равно его отражению. Чем большее отношение  $E_k$  к  $E_n$ , тем меньше заглублиение отскочившей струи. Эта концепция не имеет расчетного решения.

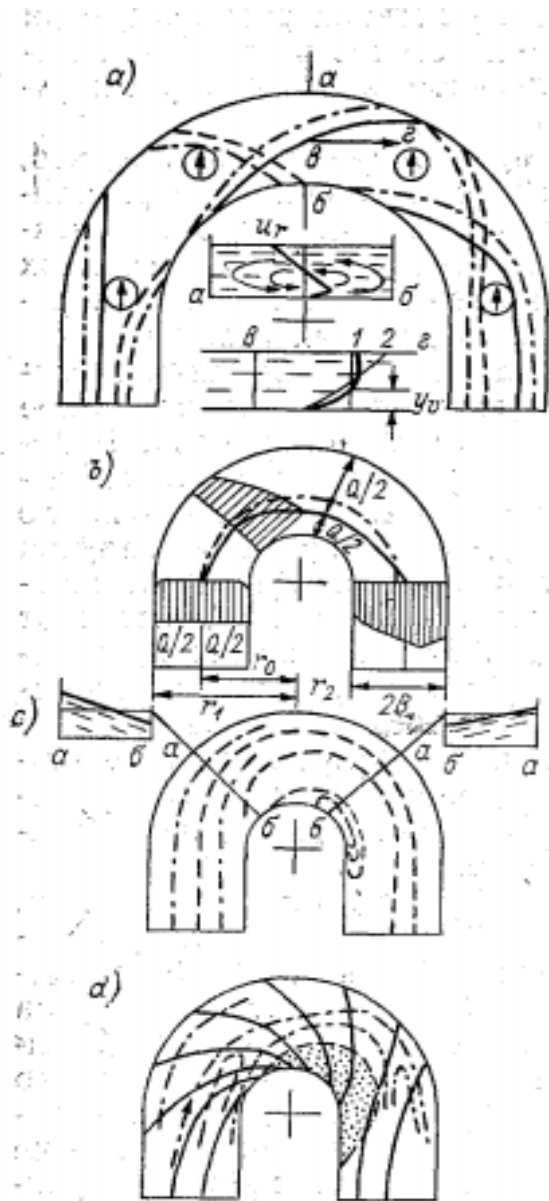
### 3.2 Экспериментальные исследования гидравлики потоков в жестких криволинейных руслах

Эксперименты выполнялись в лабораторных условиях на изгибе русла в основном с углом поворота  $2\pi$  (рис. 3.2.1). Более частые измерения полей скоростей на изгибе створа были выполнены Яковлевой Т.И., створы которой располагались через  $5$  или  $10^\circ$ .

Надо вспомнить самые первые эксперименты, которые и заложили суть процесса движения жидкости на изгибе еще в начале XIX века. А.Я.Милович показал, как движется шарик (струя) со стрелкой в потоке и сделал заключение, что энергия на преодоление потоком изгиба практически не затрачивается.

Далее, можно отметить различные эксперименты на одиночном изгибе А.Шукри, И.Л.Розовского, сотрудники ЛГМИ и исследователи из Америки.

Подтверждена трансформация полей течения продольных скоростей экспериментальным и натурным путем. Максимум скоростей отходит к выпуклому берегу до первой половины изгиба (рис. 3.2.1 b). В зависимости от шероховатости русла, глубины потока, числа  $R_e$  и др., эпюра скоростей выравнивается и распределение скоростей снова становится равным как на прямолинейном участке. На второй половине изгиба наблюдается смещение к вогнутому берегу максимумов эпюры скоростей.



Почти каждый эксперимент подтверждает присутствие донных поперечных течений, которые направлены от вогнутого берега к выпуклому при различных углах поворота, возникших немного раньше входного створа.

Рис.3.2.1. Схема движения потока на одиночном изгибе русла.

а- движение струи и циркуляционные течения, б- эпюры распределения скоростей по ширине потока, в- план течения поверхностных струй, г- то же донных.

Первым построил графическую зависимость А.Шукри  $\varphi=f(\alpha, C)$  и утвердил, расположение створа меняется от полного угла поворота ( $\alpha$ ), где расположение средних на вертикали скоростей соответствует закону площадей по ширине потока  $v_r = v_0 r_0$ .

Следом Яковлев Т.И. доказал, что не только на основном створе, но и на изгибе, распределение скоростей соответствует закону площадей, а основной створ – это средний для данного участка русла створ. Его размеры зависят от ( $\alpha'$ ) – угол поворота,  $R_e$ ,  $(r/B)$  – кривизны изгиба, а так же другие факторы.

$$\alpha' = f(\alpha, (r/B), R_e \text{ и др.}).$$

Флюгер доказывает наличие поперечных течений в потоке на изгибе русла, определяется скорость поперечная  $u_r = u_H \operatorname{tg} \theta$ , где  $\theta$  – отклонение вектора скорости от нормали к створу,  $u_H$  – нормальная скорость потока к створу.

Существует 2 составляющие поперечной скорости - циркуляции и смещения. Замкнутый цикл образуется от проекций течений циркуляционных на профиль поперечного сечения (рис. 3.2.1 а). Равна нулю и сумма переноса объёмов жидкости из одной половины сечения в другую. По длине изгиба изменяется и интенсивность циркуляционных течений, а от коэффициента Шези, угла поворота изгиба и других параметров, зависит характер изменения интенсивности циркуляции. Наоборот всё происходит у скоростей смешения, которые осуществляют перенос жидкости из одной половины в другую, по длине изгиба изменяется направление и значение скоростей смещения. На рис. 3.2.2 в лабораторных (а) и натуральных (б) данных показаны на одиночном изгибе поля поперечных скоростей. Как видно, причины данных изменений недостаточно изучен и сложны, зависят от числа Рейнольдса, коэффициента Шези, кривизны изгиба, угла поворота и других характеристик.

Под влиянием центробежных сил возникает перекося свободной поверхности русла. Наблюдается повышенный уровень воды у внешнего берега меньше, чем у внутреннего, отсюда и продольный уклон становится меньше поперечного уклона свободной поверхности.

Вторая особенность - отрываются струи, у внутреннего берега за центральным створом изгиба, и возникает водоворотная зона, когда значения кривизны изгиба больше критической (рис. 3.2.1.с, d).

Цепочка чередующихся одиночных изгибов, представляет собой сложный изгиб, который менее изучен. Основные выводы экспериментов сложного изгиба русла ЛГМИ представило на рис.3.2.3. Заключение первое, перемещение поперечных и продольных скоростей соотносимо для одиночного изгиба. Заключение второе, на выходе из первого изгиба к внешнему выпуклому берегу



смещается максимум продольных составляющих средних на вертикалях скоростей. Такое перемещение скоростей сохраняется на прямолинейном участке и поток входит в следующий изгиб створа №5 с изменённым полем скоростей. Заключение третье, по закону площадей и характер распределения скоростей на начальном изгибе близки. То же самое наблюдается и на третьем повороте русла.

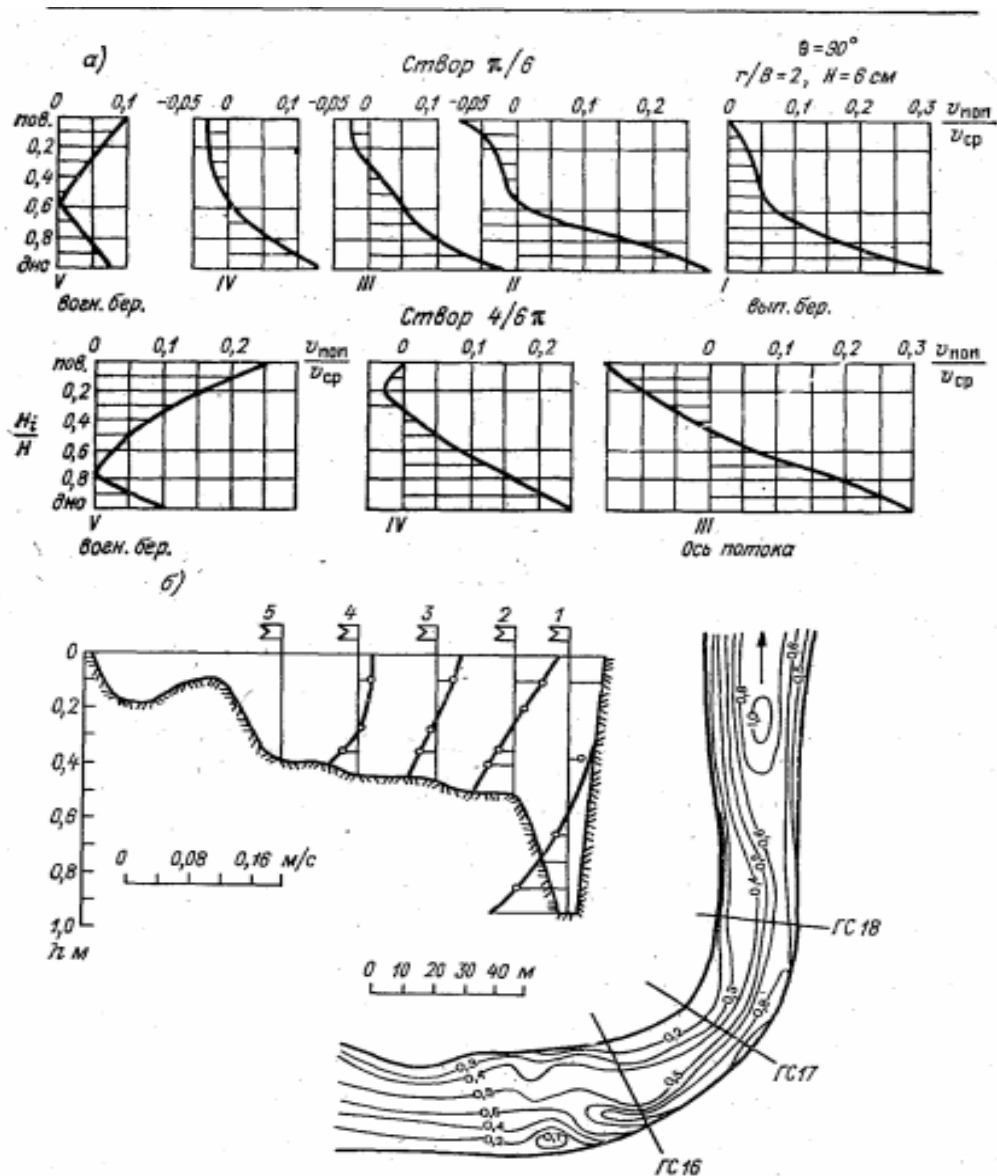


Рис.3.2.2. Эпюры распределения поперечных скоростей по глубине потока.

а- данные лабораторных измерений на установке с одиночным изгибом русла и углом поворота  $\alpha=1/2\pi$  и  $r/B=2$ ; б- план участка р.Сновн ( $\alpha=1/2\pi$ ) и эпюры распределения поперечных скоростей на гидростворе.

Таким образом, на последующем изгибе уже подготовлено поле скоростей потока со всеми закономерностями предыдущего изгиба.

Передвижение циркуляционных течений и поперечных, гораздо сложнее. Постепенно затухает вент циркуляции, возникший из-за инерционности течений на входном створе первого изгиба, и сохраняется на последующих изгибах. Мы можем наблюдать твухвинтовую циркуляцию. Между створом выхода из изгиба и центральным, наблюдается затухание вента. На отметки уровня свободной поверхности и режим скоростей смещения, действия смежных изгибов не оказывает влияния.

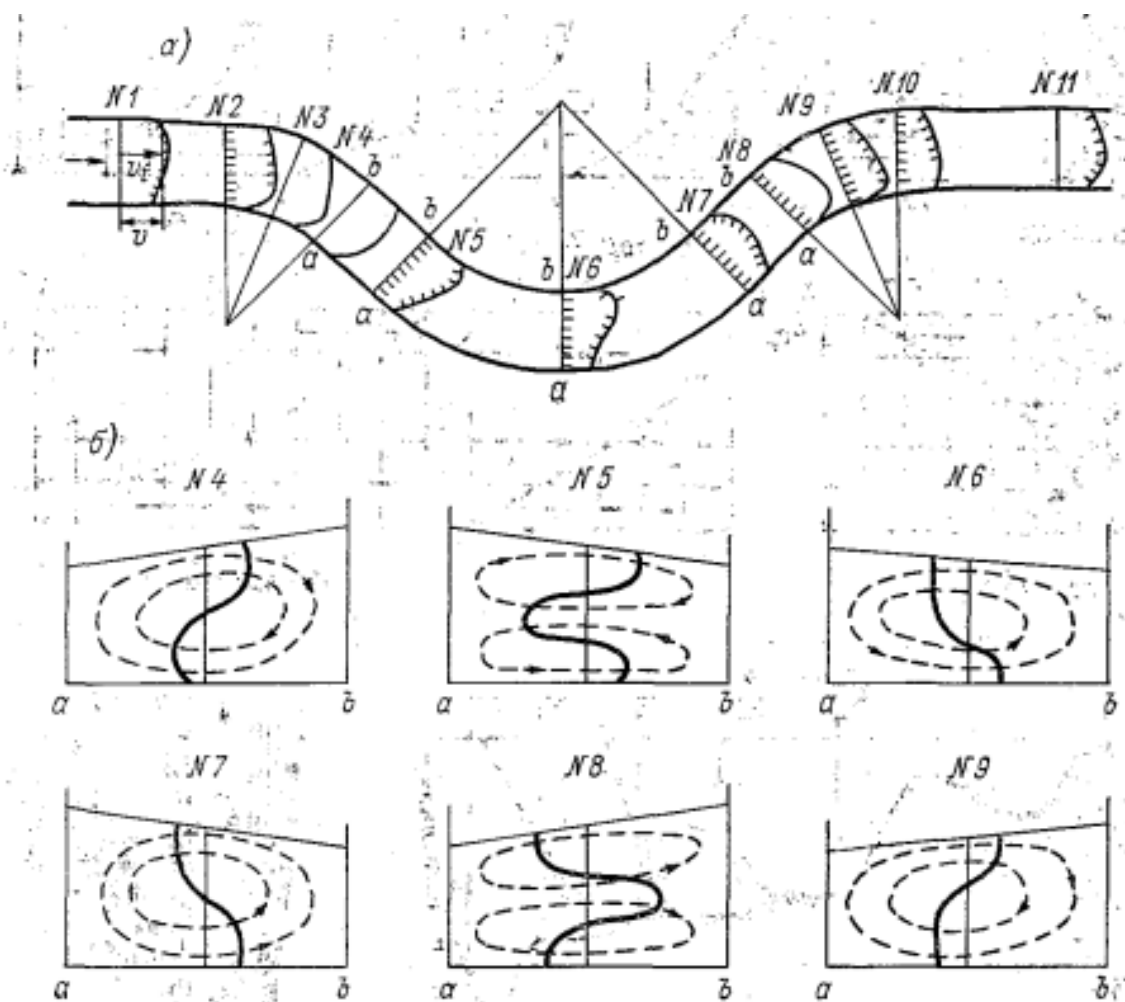


Рис.3.2.3. Эпюры распределения продольных (а) и циркуляционных (б) скоростей по ширине и глубине потока на сложном изгибе русла.

Это итоги криволинейных русел простых форм сечения экспериментальных исследований потоков.

#### 4 Методика расчёта А.В.Караушева

В этой главе мы обсудим способ А.В. Караушева, который он создал для расчётов в руслах обычных форм сечения, при том, что пойменный поток взаимодействует с русловым. Здесь же под влиянием потоков, движущихся у поймы, он рассчитал средние на вертикалях скорости. Сделал вывод, шероховатость поймы влияет на ширину действия руслового потока на пойменный.

В РГГМУ существует специализация из 5 взаимодействий пойменного и руслового потоков (рис. 4.1), при условии что ниже расчётного гидроствора будут учтены индивидуальности строения русла (морфологические). Наглядно можно заметить, что основным условием в потоках является размещение их динамических осей, которые зависят от русла и поймы. Данная типизация была выполнена неоднократно и во многих работах, применив формулу Шези, при взаимодействии русловых и пойменных потоков, средние скорости не совпадают с подобными.

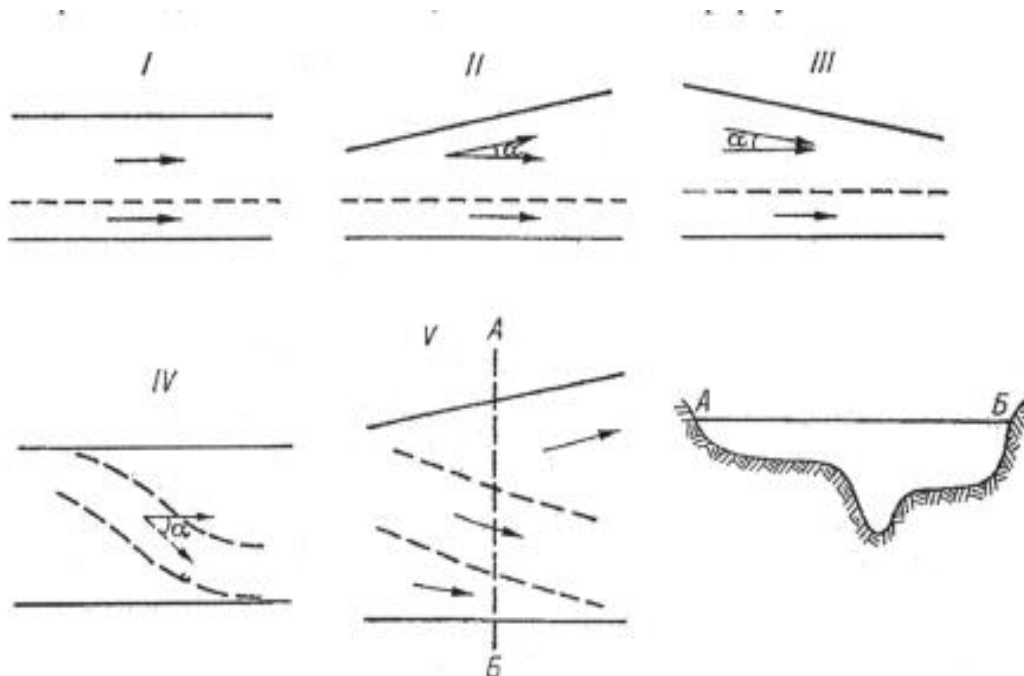


Рис. 4.1 Схема типизации процессов взаимодействия руслового и пойменного потоков (типы взаимодействия);

Исследования многих рек позволило создать подчиненность от углов и средних глубин для нахождения средних скоростей потоков (рис. 4.2)

$$\frac{v_p}{v_{pб}} = f\left(\frac{h_p}{h_{pб}}, \alpha\right)$$

где  $h$  – средние глубины и скорости русловых потоков;  $\alpha$  – в пойменных и русловых потоках угол между динамическими осями;  $p$  – расчётный уровень и  $p.б.$  – уровень бровки при затоплении.

На рис. 4.2 наглядно можно заметить, что при трансформации углов и глубин, то увеличиваются, то уменьшаются средние скорости потоков. То есть при вторжении пойменных вод в русловый поток. Значит от индивидуальностей строения и расположения створа, зависят изменения средних скоростей русла (глубина и углы). Под влиянием пойменного потока все скорости трансформируются и смещаются в другую сторону от поймы.

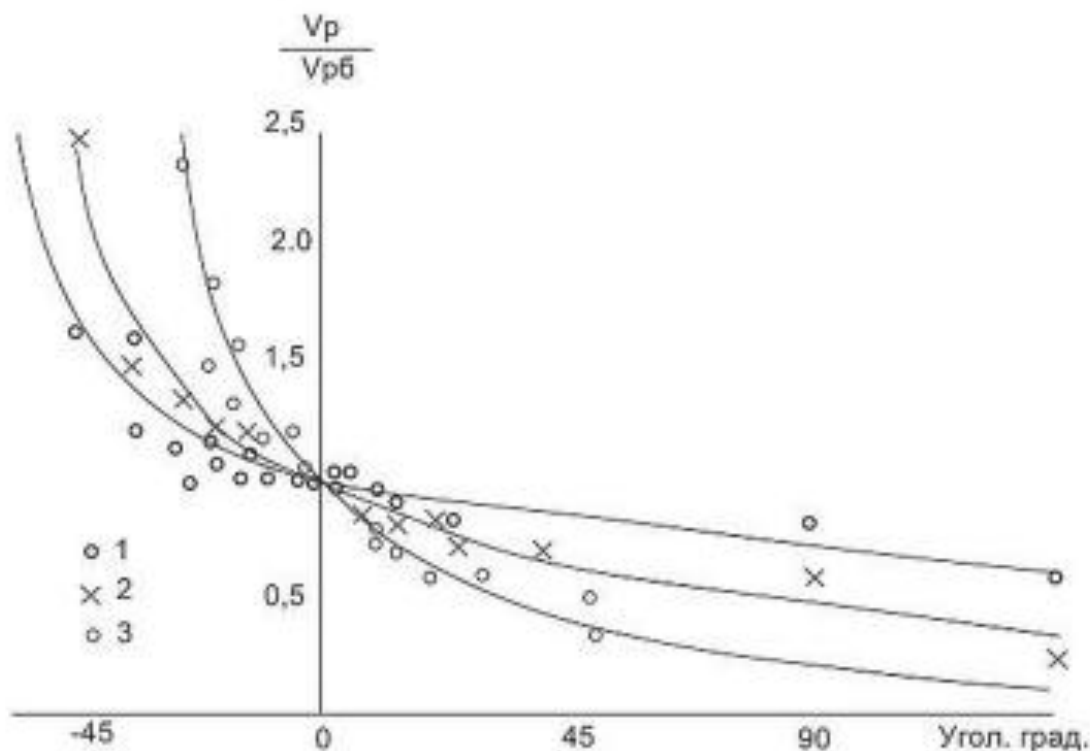


Рис. 4.2 Кривые  $\frac{v_p}{v_{pб}} = f\left(\frac{h_p}{h_{pб}}, \alpha\right)$ ; 1= 1,10; 2= 1,25; 3= 1,50.

На рис.4.3, модели Гончарова В.Н., выполненные из бетона двухсторонние и односторонние поймы, тах средних на вертикалях скоростей сдвигается в противоположную пойму и средняя скорость на вертикали уменьшается на 3 и 1 т ипе взаимодействия руслового потока (рис. 4.3, II, III ). На двухсторонней пойме (рис. 4.3, II, III ) структура гораздо сложнее, здесь тах скорость находится в центре русла, а средняя все так же уменьшается. Противоположную закономерность имеет 4 и 2 типы взаимодействия (рис. 4.3, IV), тах скоростей смещается в сторон поймы (при двухсторонней), где скорости течения очень большие (рис. 4.3, IVa), а при односторонней уменьшение скорости не выявлено. Совершенно точно, что пойменный и русловой поток взаимоотноформируемы е.

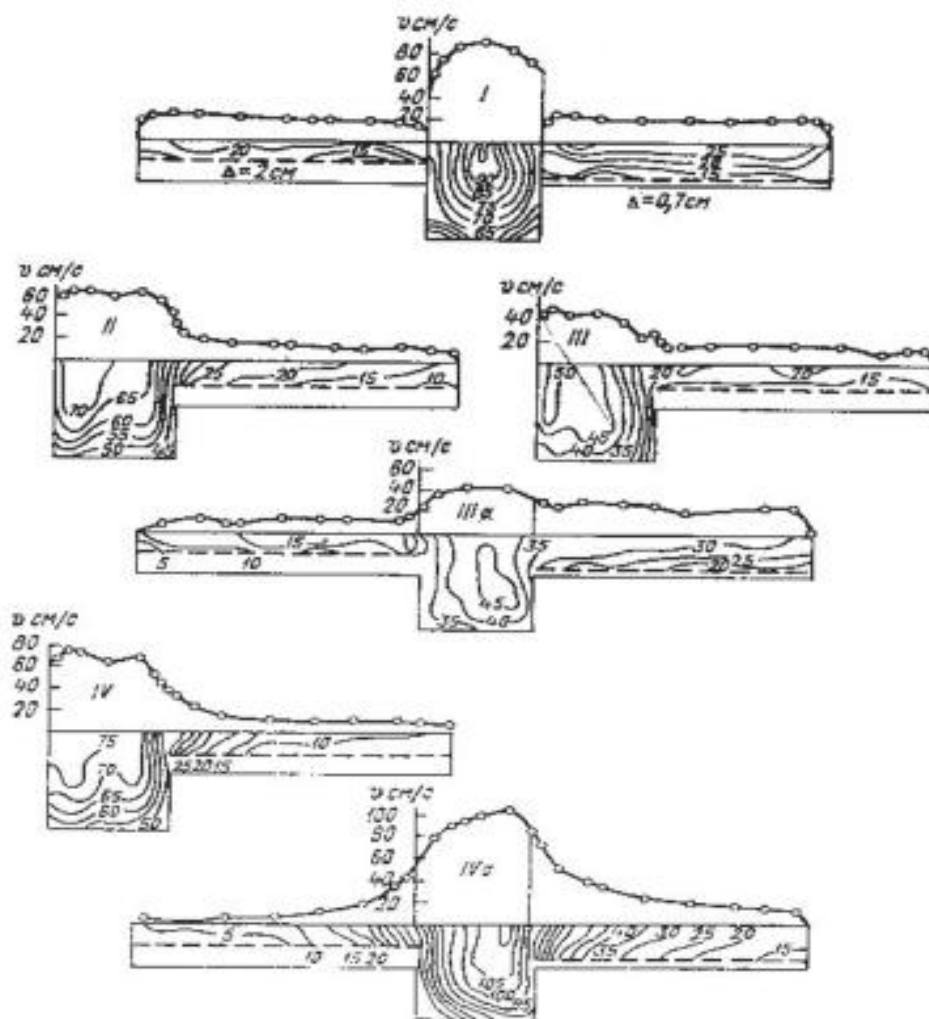


Рис. 4.3 Поля скоростей потоков в руслах с поймами при различных типах взаимодействия ( $h_p=9$  см); I – русло и поймы изолированные; II – 1 тип

взаимодействия потоков; III и IIIa – из пойм в русло перетекание; IV и IVa – из русла в пойму перетекание.

Найдём средние скорости потоков, имея данные о площадях поперечного сечения и тах расходах воды при соответствующих уровнях,

$$\bar{v} = \frac{Q}{F} = C\sqrt{\bar{h}I} = \frac{h^{2/3}I^{1/2}}{n}$$

где  $\bar{h}$  - средняя глубина;  $n$  – коэффициент шероховатости;  $I$  – уклон водной поверхности;  $C$  – коэффициент Шези.

За счёт того, что низкая точность коэффициентов шероховатости и погрешности уклонов, приняли  $I^{1/2}/n=B$ . Отсюда  $\bar{v}=Bh^{2/3}$ ,  $B=\bar{v}/(h^{2/3})$ . Коэффициент  $B$  может быть применим для расчёта средних скоростей на вертикалях,

$$v_i = Bh_i^{2/3}$$

где,  $h_i$  и  $v_i$  - средние на вертикалях глубины и скорости русловых потоков.

На основе натуральных данных и при тах  $Q$  воды, по этому способу рассчитывались средние на вертикали скорости  $v_{pi}$  и вычислены погрешности их расчётов  $\Delta v_i = v_{изм i} - v_{pi}$  и  $\frac{\Delta v_i}{v_{изм i}}\%$ . Коэффициент  $B$  можно рассчитать так  $I^{1/2}/n=B$ , где  $n$  и  $I$  определяются по источникам полевых измерений и по таблицам шероховатости.

По предлагаемому способу, основанному на формуле Шези-Маннинга и их поправок, рассчитываются значения средних скоростей на вертикалях русловых составляющих потоков, близко к значениям этих скоростей фактических.

## Расчётная часть

Нам важно знать, эпюру распределение по ширине потока средних на вертикалях скоростей и  $\max Q$  воды определенной обеспеченности, затем по глубине естественных потоков рассчитать распределение местных скоростей, для строительства гидротехнических сооружений. Те же данные нужны для вычисления критических скоростей каналов различной формы сечения и при проектировании переходов мостовых глубин местного размыва.

На гипотезе о равномерном движении (на применении формулы Шези) основана методика расчёта скоростей в руслах простых форм сечения. Применяют метод последовательного приближения, так как информация об уклонах водной поверхности привычно отсутствует, поэтому мы приблизительно определяем значения коэффициента шероховатости по Срибного М.Ф., Чоу В.Т., Карасева И.Ф. и др (таблицы).

Методику А.В.Караушева мы принимаем в качестве расчётной, которая основывается на применении формул Шези-Маннинга (Шези-Павловского).

Исходные данные: уровень водной поверхности  $H$  (см), ширина русла  $B$  (м), глубина максимальная  $h_{max}$  (м) и средняя  $h_{cp}$  (м), уклон водной поверхности  $I$  (‰), общая площадь сечения  $F$  (м<sup>2</sup>), расход русла в сечении  $Q$  (м<sup>3</sup>/с), значение коэффициента  $K$ .

Задачи работы: Освоение методов расчёта полей скорости и пропускной способности естественных русел, а также учёт влияния на нее формы сечения.

Исходные данные: книжки измеренных расходов воды р.Вильня – д.Сантакай за 1953,1955 гг и р.Шешупе – пос.Долгое за 1956,1967 гг.

Используя методику А.В. Караушева, рассчитываем распределение средних на вертикалях скоростей по ширине руслового потока за каждую дату

измерений в створе. Для этого преобразуем формулу Шези с учётом формул Маннинга к виду:

$$v = C\sqrt{hI} = Kh^{2/3} \Rightarrow K = \frac{v_{cp}}{h^{2/3}}$$

где  $h$  – средняя глубина в створе.

Рассчитать значение коэффициента  $K$ . Используя полученное значение  $K$ , рассчитать значения средних на вертикалях скоростей  $v_{расч}$ :

$$v_i = Kh_i^{2/3}$$

Рассчитали  $K_{cp}$  для каждой реки просуммировав коэффициенты и разделив на их количество.

$$K_{cp} = 0,682 - \text{р.Вильня}$$

$$K_{cp} = 0,419 - \text{р.Шешупе}$$

Пересчитываем расчётные скорости  $v_{расч}$  по среднему коэффициенту  $K_{cp}$  по формуле:

$$v_i = K_{cp} h_i^{2/3}$$

Вычисляем погрешность расчетной скорости по коэффициенту  $K$  в свою дату  $\Delta v_{расч}, \%$  и по среднему  $\Delta v_{расч}(K_{cp}), \%$ .

$$\Delta v_{расч} = \frac{(v_{расч} - v_{изм})}{v_{изм}} 100\%$$

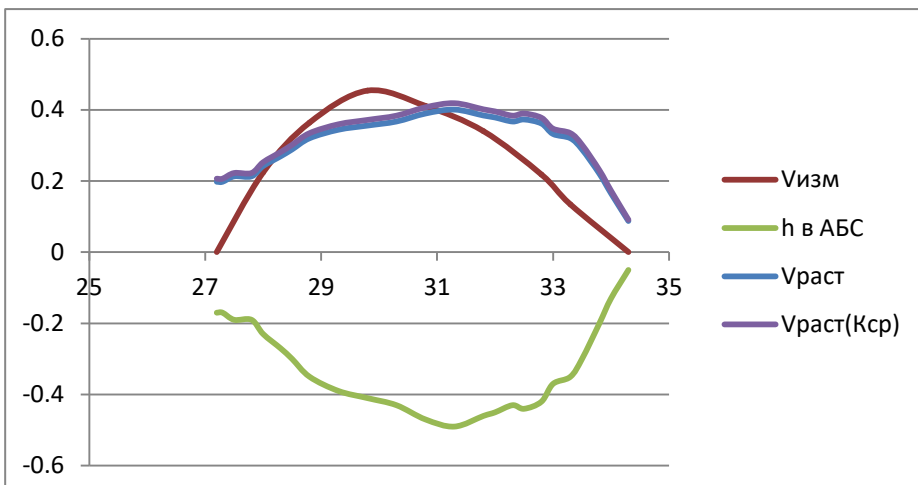
$$\Delta v_{расч}(K_{cp}) = \frac{(v_{расч}(K_{cp}) - v_{изм})}{v_{изм}} 100\%$$

Построили поле изотох и эпюры распределения измеренных и расчётных средних на вертикалях скоростей по ширине руслового потока. Оценили погрешность методики расчёта, просуммировав относительные погрешности расчёта средних скоростей для всех скоростных вертикалей.



Пример: р.Вильня

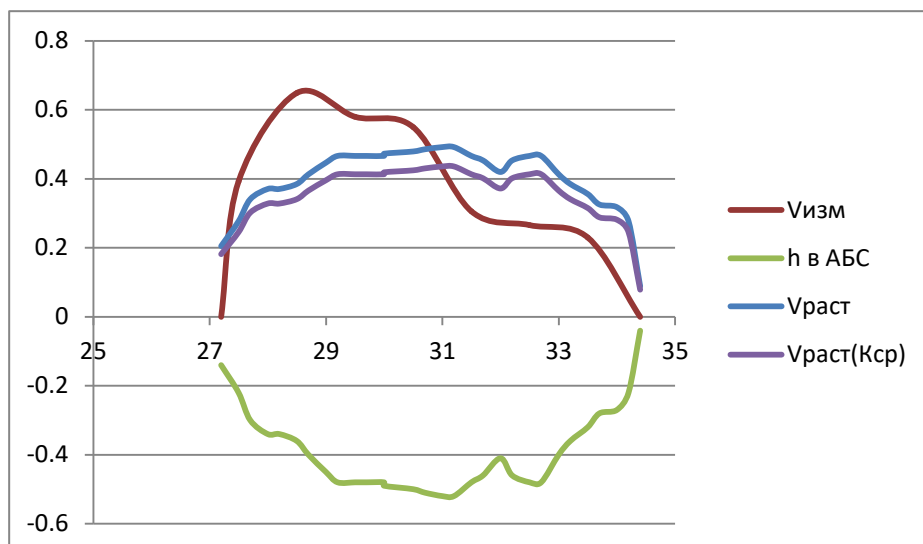
15.08.1953г	
Н, см	127
Q	0,8
Гобщ	2,52
Vcp	0,32
Vmax	0,49
B	7,1
hcp	0,35
hmax	0,49
I	1,26
K	0,64



№вертик.	Расст от п.н., м	h со срезк.	hcp	h в АБС	Vизм	Vpac	Vpac(Kcp)	ΔVpac,%	ΔVpac(Kcp),%
ур лб 1	27,2	0,17	0,18	-0,17	0	0,198	0,209		
2	27,3	0,17	0,16	-0,17		0,198	0,209		
3	27,5	0,19	0,18	-0,19		0,213	0,226		
4	27,8	0,19	0,2	-0,19		0,213	0,226		
5	28	0,23	0,24	-0,23	0,224	0,242	0,256	8,0	14,4
6	28,3	0,27	0,28	-0,27		0,269	0,285		
7	28,5	0,3	0,3	-0,3		0,289	0,306		
8	28,8	0,35	0,35	-0,35	0,364	0,320	0,339	-12,1	-6,9
9	29,3	0,39	0,4	-0,39		0,344	0,364		
10	29,8	0,41	0,42	-0,41	0,454	0,356	0,377	-21,7	-17,0
11	30,3	0,43	0,44	-0,43		0,367	0,389		
12	30,8	0,47	0,47	-0,47	0,411	0,389	0,413	-5,2	0,4
13	31,3	0,49	0,48	-0,49		0,400	0,424		
14	31,8	0,46	0,46	-0,46	0,34	0,384	0,407	12,9	19,6
15	32	0,45	0,44	-0,45		0,378	0,401		
16	32,3	0,43	0,44	-0,43		0,367	0,389		
17	32,5	0,44	0,43	-0,44		0,373	0,395		
18	32,8	0,42	0,42	-0,42	0,218	0,361	0,383	65,8	75,6
19	33	0,37	0,37	-0,37		0,332	0,352		
20	33,3	0,35	0,35	-0,35	0,134	0,320	0,339	138,8	152,9
21	33,5	0,3	0,31	-0,3		0,289	0,306		

22	33,8	0,2	0,2	-0,2		0,220	0,233		
23	34	0,13	0,13	-0,13		0,165	0,175		
ур пб24	34,3	0,05	0,05	-0,05	0	0,087	0,093		

21.03.1955г	
H, см	133
Q	1,2
Гобщ	2,87
V <sub>ср</sub>	0,42
V <sub>max</sub>	0,70
B	7,2
h <sub>ср</sub>	0,41
h <sub>max</sub>	0,52
I	1,25
K	0,76

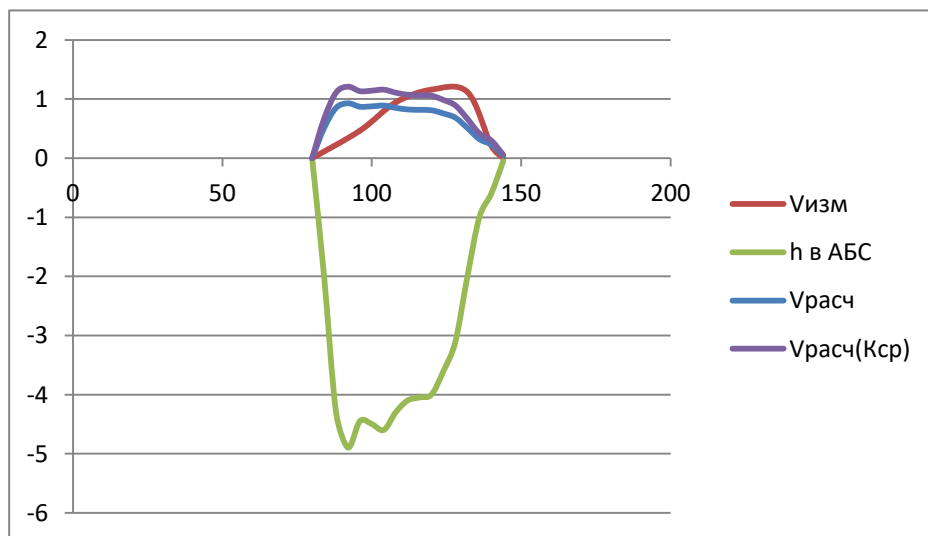


№вертик.	Расст от п.н., м	h со срезк.	h <sub>ср</sub>	h в АБС	Vизм	Vрасч	Vрасч(Кср)	ΔVрасч,%	ΔVрасч(Кср),%
ур лб 1	27,2		0,14	-0,14	0	0,205	0,184		
2	27,5		0,22	-0,22	0,393	0,277	0,249	-29,4	-36,7
3	27,7		0,3	-0,3		0,341	0,306		
4	28		0,34	-0,34		0,371	0,332		
5	28,2		0,34	-0,34		0,371	0,332		
6	28,5		0,36	-0,36	0,649	0,385	0,345	-40,7	-46,8
7	28,7		0,4	-0,4		0,413	0,370		
8	29		0,45	-0,45		0,447	0,401		
9	29,2		0,48	-0,48		0,467	0,418		
10	29,5		0,48	-0,48	0,58	0,467	0,418	-19,6	-27,9
11	29,7		0,48	-0,48		0,467	0,418		
12	30		0,48	-0,48		0,467	0,418		
13	30		0,49	-0,49		0,473	0,424		
14	30,5		0,5	-0,5	0,55	0,479	0,430	-12,8	-21,8
15	30,7		0,51	-0,51		0,486	0,436		
16	31		0,52	-0,52		0,492	0,441		
17	31,2		0,52	-0,52		0,492	0,441		

18	31,5		0,48	-0,48	0,306	0,467	0,418	52,5	36,7
19	31,7		0,46	-0,46		0,453	0,407		
20	32		0,41	-0,41		0,420	0,377		
21	32,2		0,46	-0,46		0,453	0,407		
22	32,5		0,48	-0,48	0,266	0,467	0,418	75,4	57,3
23	32,7		0,48	-0,48		0,467	0,418		
24	33		0,4	-0,4		0,413	0,370		
25	33,2		0,36	-0,36		0,385	0,345		
26	33,5		0,32	-0,32	0,23	0,356	0,319	54,8	38,8
27	33,7		0,28	-0,28		0,326	0,292		
28	34		0,27	-0,27		0,318	0,285		
29	34,2		0,22	-0,22		0,277	0,249		
ур пб30	34,4		0,04	-0,04	0	0,089	0,080		

Пример: р.Шешупе

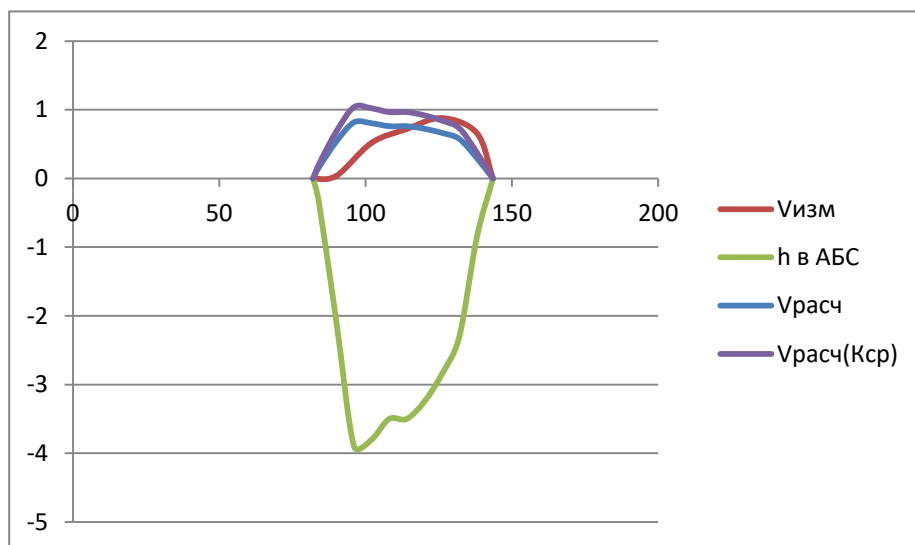
14.04.1956г	
Н, см	508
Q	152
Гобщ	206
V <sub>ср</sub>	0,7
V <sub>мах</sub>	1,2
В	64
h <sub>ср</sub>	3,22
h <sub>мах</sub>	4,9
I	0,38
К	0,32



№вертик.	Расст от п.н., м	h со срезк.	h <sub>ср</sub>	h в АБС	Визм	Врасч	Врасч(Кср)	ΔВрасч,%	ΔВрасч(Кср),%
ур лб1	80	0	0	0	0	0,000	0,000		
2	84	2	2	-2		0,510	0,665		
3	88	4,3	4,3	-4,3		0,849	1,108		
4	92	4,9	4,9	-4,9		0,926	1,209		
5	96	4,45	4,45	-4,45	0,465	0,868	1,134	86,8	143,8
6	100	4,5	4,5	-4,5		0,875	1,142		

7	104	4,6	4,6	-4,6		0,888	1,159		
8	108	4,3	4,3	-4,3	0,944	0,849	1,108	-10,1	17,4
9	112	4,1	4,1	-4,1		0,822	1,074		
10	116	4,05	4,05	-4,05		0,816	1,065		
11	120	4	4	-4	1,16	0,809	1,056	-30,3	-9,0
12	124	3,6	3,6	-3,6		0,754	0,984		
13	128	3,1	3,1	-3,1		0,682	0,891		
14	132	2	2	-2	1,12	0,510	0,665	-54,5	-40,6
15	136	1	1	-1		0,321	0,419		
16	140	0,6	0,6	-0,6	0,21	0,228	0,298	8,7	42,0
ур пб17	144	0,05	0,05	-0,05	0	0,044	0,057		

20.03.1967г	
Н, см	416
Q	99,4
Гобщ	158
V <sub>ср</sub>	0,62
V <sub>max</sub>	0,99
B	61,5
h <sub>ср</sub>	2,57
h <sub>max</sub>	3,9
I	0,41
K	0,33



№вертик.	Расст от п.н., м	h со срезк.	h <sub>ср</sub>	h в АБС	V <sub>изм</sub>	V <sub>расч</sub>	V <sub>расч(Кср)</sub>	ΔV <sub>расч</sub> ,%	ΔV <sub>расч(Кср)</sub> ,%
ур лб 1	82	0		0	0	0,000	0,000		
2	84	0,35		-0,35		0,164	0,208		
3	90	2,1		-2,1	0,04	0,542	0,687	1254,7	1618,2
4	96	3,9		-3,9		0,819	1,038		
5	102	3,8		-3,8	0,52	0,805	1,021	54,7	96,3
6	108	3,5		-3,5		0,762	0,966		

7	114	3,5		-3,5	0,72	0,762	0,966	5,8	34,2
8	120	3,25		-3,25		0,725	0,920		
9	126	2,85		-2,85	0,88	0,664	0,842	-24,5	-4,3
10	132	2,3		-2,3		0,576	0,730		
11	138	0,85		-0,85	0,66	0,297	0,376	-55,1	-43,0
ур пб12	143,5	0		0	0	0,000	0,000		

Исходя из графиков, можно заметить, что на реке Вильня расчетная скорость  $v_{расч}$  смещена к правому берегу, в то время как измеренная  $v_{изм}$  к левому. Абсолютно противоположна картина наблюдается на реке Шешупе: здесь  $v_{расч}$  расчётная скорость тянется к левому берегу, измеренная к правому. Это говорит о том, что наши створы расположены на изгибе руслового потока, только один из них находится в начале изгиба, а другое в его конце. По вышеизложенной теории, мы определили, что створ на р.Вильня находится в конце изгиба, так как скорости (продольные и поперечные) размывают левый берег реки. Створ р.Шешупе только входит в изгиб и размывает его правый берег речного потока.

Чтобы наши расчётные скорости совпадали с измеренными, для последующего прогноза измеренных скоростей, так как данные есть не на каждой вертикали, а для инженера-гидролога они крайне необходимы в любых работах связанных с гидрорасчётами (будь то прогнозы, строительство, изыскательские работы и тд), требуется ввести коэффициент  $K$  для уравнивания данных скоростей в будущем на одиночном изгибе русла.

Вводим в формулу расчётной скорости дополнительный коэффициент  $K$ , чтобы скорость на вертикалях  $v_{изм}$  совпадала с  $v_{расч}$ , а затем уже интерполируем между значениями введённых коэффициентов.

На примере р.Вильня за 15.08.1953г на первой скоростной вертикали (а всего их 7), нам нужно получить  $V_{расч}$  равное по значению  $V_{изм}$ , чтобы в

дальнейшем мы могли прогнозировать недостающие значения на измеренных скоростных вертикалях в прямолинейном русле, а не на изгибе. Поэтому по значению они должны практически совпадать, чего в нашем случае не происходит. Для этого мы создаем методику, определяющую данный прогноз. Домножаем нашу формулу на коэффициент  $K$ , который находим методом подбора так, чтобы вычисленное значение  $V_{расч}$  было равно  $V_{изм}$ :

$$v_i = K h_i^{2/3} \cdot K$$

$$v_{1расч} = 0,64 \cdot (0,23^{2/3}) \cdot 0,9 = 0,218 \text{ м}^3/\text{с} ,$$

что близко к нашему значению на скоростной вертикали  $V_{изм} = 0,224 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Последующие значения мы находим методом пропорции, чтобы максимально приблизить их к фактическим:

$$v_{2расч} = v_{2 \text{ изм}} \cdot v_{1расч} / v_{1 \text{ изм}}$$

, получаем  $v_{2расч} = 0,364 \cdot 0,218 / 0,224 = 0,354 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Далее, таким же способом находим оставшиеся расчётные значения, а затем интерполируем между ними скорости, которые не были учтены на скоростных вертикалях и получаем такую картину:

$$v_{3расч} = 0,454 \cdot 0,352 / 0,364 = 0,442 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$v_{4расч} = 0,411 \cdot 0,442 / 0,454 = 0,400 \text{ м}^3/\text{с}.$$

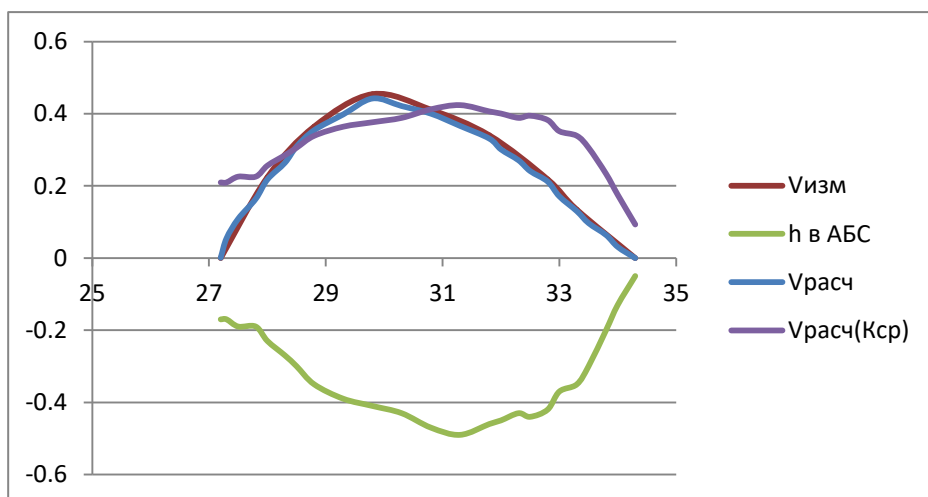
$$v_{5расч} = 0,340 \cdot 0,400 / 0,411 = 0,331 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$v_{6расч} = 0,218 \cdot 0,331 / 0,340 = 0,212 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$v_{7расч} = 0,134 \cdot 0,212 / 0,218 = 0,130 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Пример: р.Вильня

15.08.1953г	
Н, см	127
Q	0,8
Гобщ	2,52
Vcp	0,32
Vmax	0,49
B	7,1
hcp	0,35
hmax	0,49
I	1,26
K	0,64

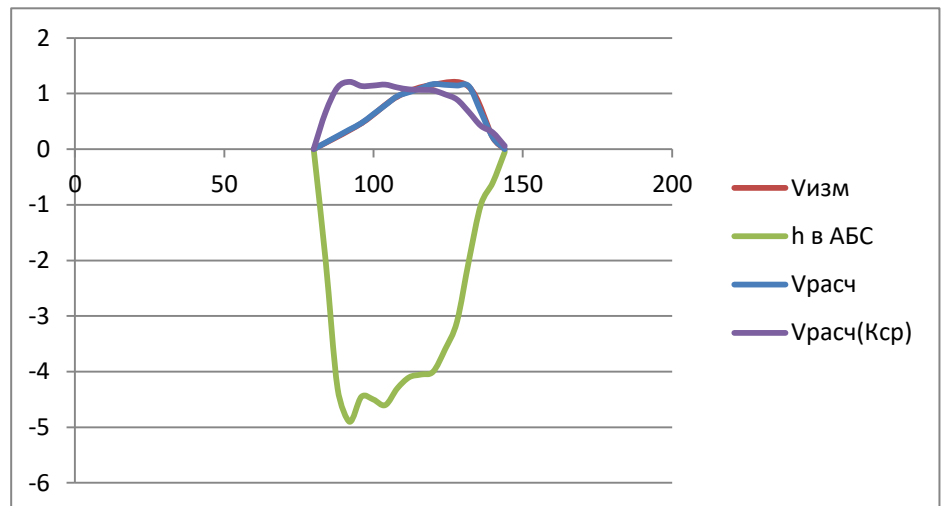


№вертик.	Расст от п.н., м	h со срезк.	hcp	h в АБС	Vизм	Vрасч	Vрасч(Ксп)	$\Delta V_{расч},\%$	$\Delta V_{расч(Ксп)},\%$
ур лб 1	27,2	0,17	0,18	-0,17	0	0,001	0,209		
2	27,3	0,17	0,16	-0,17		0,055	0,209		
3	27,5	0,19	0,18	-0,19		0,109	0,226		
4	27,8	0,19	0,2	-0,19		0,164	0,226		
5	28	0,23	0,24	-0,23	0,224	0,218	0,256	-2,8	14,4
6	28,3	0,27	0,28	-0,27		0,264	0,285		
7	28,5	0,3	0,3	-0,3		0,309	0,306		
8	28,8	0,35	0,35	-0,35	0,364	0,354	0,339	-2,7	-6,9
9	29,3	0,39	0,4	-0,39		0,398	0,364		
10	29,8	0,41	0,42	-0,41	0,454	0,442	0,377	-2,6	-17,0
11	30,3	0,43	0,44	-0,43		0,421	0,389		
12	30,8	0,47	0,47	-0,47	0,411	0,400	0,413	-2,7	0,4
13	31,3	0,49	0,48	-0,49		0,366	0,424		
14	31,8	0,46	0,46	-0,46	0,34	0,331	0,407	-2,6	19,6
15	32	0,45	0,44	-0,45		0,301	0,401		
16	32,3	0,43	0,44	-0,43		0,271	0,389		
17	32,5	0,44	0,43	-0,44		0,241	0,395		
18	32,8	0,42	0,42	-0,42	0,218	0,212	0,383	-2,8	75,6
19	33	0,37	0,37	-0,37		0,171	0,352		

20	33,3	0,35	0,35	-0,35	0,134	0,130	0,339	-3,0	152,9
21	33,5	0,3	0,31	-0,3		0,097	0,306		
22	33,8	0,2	0,2	-0,2		0,064	0,233		
23	34	0,13	0,13	-0,13		0,031	0,175		
ур п624	34,3	0,05	0,05	-0,05	0	0,000	0,093		

### Пример: р.Шешупе

14.04.1956г	
Н, см	508
Q	152
Гобщ	206
V <sub>ср</sub>	0,7
V <sub>мах</sub>	1,2
B	64
h <sub>ср</sub>	3,22
h <sub>мах</sub>	4,9
I	0,38
K	0,32



№вертик.	Расст от п.н., м	h со срезк.	h <sub>ср</sub>	h в АБС	V <sub>изм</sub>	V <sub>расч</sub>	V <sub>расч(Кср)</sub>	ΔV <sub>расч</sub> ,%	ΔV <sub>расч(Кср)</sub> ,%
ур лб1	80	0	0	0	0	0,001	0,000		
2	84	2	2	-2		0,118	0,665		
3	88	4,3	4,3	-4,3		0,235	1,108		
4	92	4,9	4,9	-4,9		0,352	1,209		
5	96	4,45	4,45	-4,45	0,465	0,469	1,134	0,9	143,8
6	100	4,5	4,5	-4,5		0,630	1,142		
7	104	4,6	4,6	-4,6		0,791	1,159		
8	108	4,3	4,3	-4,3	0,944	0,952	1,108	0,8	17,4
9	112	4,1	4,1	-4,1		1,025	1,074		
10	116	4,05	4,05	-4,05		1,098	1,065		
11	120	4	4	-4	1,16	1,170	1,056	0,9	-9,0



12	124	3,6	3,6	-3,6		1,157	0,984		
13	128	3,1	3,1	-3,1		1,144	0,891		
14	132	2	2	-2	1,12	1,130	0,665	0,9	-40,6
15	136	1	1	-1		0,671	0,419		
16	140	0,6	0,6	-0,6	0,21	0,212	0,298	1,0	42,0
ур пб17	144	0,05	0,05	-0,05	0	0,000	0,057		

$$v_i = Kh_i^{2/3} \cdot K$$

$$v_{1\text{расч}} = 0,321 \cdot (4,45^{2/3}) \cdot 0,54 = 0,469 \text{ м}^3/\text{с} ,$$

что близко к нашему значению на скоростной вертикали  $V_{\text{изм}} = 0,224 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Последующие значения мы находим методом пропорции, чтобы максимально приблизить их к фактическим:

$$v_{2\text{расч}} = v_{2\text{изм}} \cdot v_{1\text{расч}} / v_{1\text{изм}}$$

, получаем  $v_{2\text{расч}} = 0,944 \cdot 0,469 / 0,465 = 0,952 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Далее, таким же способом находим оставшиеся расчётные значения, а затем интерполируем между ними скорости, которые не были учтены на скоростных вертикалях и получаем такую картину:

$$v_{3\text{расч}} = 1,160 \cdot 0,952 / 0,944 = 1,170 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$v_{4\text{расч}} = 1,12 \cdot 1,170 / 1,160 = 1,130 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$v_{5\text{расч}} = 0,21 \cdot 1,130 / 1,12 = 0,212 \text{ м}^3/\text{с}$$



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барышников Н.Б. Руководство к лабораторным работам по динамике русловых потоков и русловым процессам.: - Ленинград.: Гидрометеиздат,1991. – 224 с.
2. Барышников Н.Б. Динамика русловых потоков. Учебник. Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб.: РГГМУ, 2016. — 342 с.
3. Барышников Н.Б.,Исаев Д.И., Дрегваль М.С., Гаврилов И.С. Учёные записки №44, Взаимодействие русловых и пойменных потоков.: - СПб.: РГГМУ, 2016. — 9 с.
4. Барышников Н.Б., Иванов Г.В. Взаимодействие руслового и пойменного потоков при пересечении их осей. Труды ЛГМИ. – Вып.46. – Ленинград.: Изд. Гидрометеиздат, 1972. – 131 с.
5. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. – Ленинград.: Гидрометеорологическое издательство,1962. – 366 с.
6. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. - Ленинград.: Гидрометеорологическое издательство,1969. – 424 с.
7. Государственный водный кадастр: Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, Том 1, Выпуск 5,6. – Вильнюс, 1955. – 205 .
8. Железняков Г.В. Пропускная способность русел каналов и рек. – Ленинград.: Гидрометеиздат, 1981. – 308 с.
9. Карасев И.Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. — Ленинград.: Гидрометеиздат, 1980. – 310 с.
- 10.Караушев А.В. Речная гидравлика. — Ленинград.: Гидрометеиздат, 1969. – 414 с.
- 11.Поляков Б. В. Гидрологический анализ и расчеты.—Л.: Гидрометеиздат, 1946.— 480 с.
- 12.Ржаницын Н. А. Руслоформирующие процессы рек .—Л.: Гидрометеиздат,1985.—264 с.

13. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 4. Прибалтийский район. Вып. 3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР / под ред. В.Е.Водогрецкого. — Ленинград.: Гидрометеиздат, 1955. — 171 с.
14. Спицын И.П. О взаимодействии потоков основного русла и поймы. Метеорология и гидрология. — №10. — М., 1962. — 302 с.
15. Вишняков И. У реки Шешупе [Электронный ресурс] // — 2017. - №1. — Режим доступа: <http://vis39.ru/news/1479>
16. Шешупе // Словарь географических названий СССР / ГУГК, ЦНИИГАиК. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Недра, 1983. — 284 с.