



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 средних на вертикалях скоростей естественных русел

На тему

Исполнитель Глазунов Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Гаврилов Илья Сергеевич
(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)

15.06.2019 2019 г.

Санкт-Петербург
2019

Титульник

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.	3
1 Физико-географическое описание объектов исследования.	4
1.1 Географическое положение и общее описание объектов.	4
1.2 Расположение и основные гидрографические характеристики использованных пунктов наблюдений.	9
2 Поля скоростей турбулентного руслового потока.	18
2.1 Распределение скоростей по глубине потока.	18
2.2 Поля скоростей в руслах прямоугольного сечения.	20
2.3 Распределение скоростей по сечению руслового потока.	23
3 Расчётная методика.	26
3.1 Анализ исходных данных.	26
3.2 Вывод расчётной методики.	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.	45
ПРИЛОЖЕНИЯ.	46

ВВЕДЕНИЕ

Расчёт средних на вертикалях скоростей естественных русел является одной из главных проблем в гидрологии, так как не всегда есть возможность получить непрерывный ряд эмпирических данных для выполнения дальнейших расчётов или обработки результатов. Поэтому, для определения средних на вертикалях скоростей, мы вынуждены использовать различные методики. Однако, несмотря на их большое разнообразие, при сравнении расчётных значений с фактическими, мы достаточно часто получаем серьёзные погрешности, которые могут достигать до 100%. Это может быть связано, как с неточностью исходных данных, так и с морфометрическими особенностями данного водного объекта. К тому же большая часть методик разработана только для русел простых форм сечений и с целым рядом ограничений. Всё это значительно снижает возможность и эффективность их применения на практике.

Целью данной дипломной работы является разработка универсальной методики для расчёта средних на вертикалях скоростей естественных русел.

Задачи:

- 1 – Анализ и обработка исходных данных;
- 2 – Разработка расчётной методики;
- 3 – Оценка эффективности расчётной методики и возможности её применения.

1 Физико-географическое описание объектов исследования.

1.1 Географическое положение и общее описание объектов.

Общее описание реки Согожи:

Река Согожа берёт начало в Вологодской области возле деревни Митицыно. В этом месте проходит водораздел бассейнов Волги и Белого моря. Здесь же, в километре от истока Согожи берёт начало такая река как Тошни, которая относится уже к бассейну Белого моря.

Согожа протекает через Вологодскую и Ярославскую области России и впадает в Рыбинское водохранилище, которое расположено на Волге. До создания этого водохранилища, Согожа была притоком реки Шексны.

Длина реки составляет 129 км, площадь её бассейна – 2900 км² (Рис. 1.1.1).

В верхнем течении Согожа течёт в юго-восточном направлении в малонаселённой, лесистой местности. Из-за большого числа мелких притоков, она быстро увеличивает свою ширину, а за устьем первого крупного притока, а именно реки Сегжи, она составляет уже около 30 метров. Течение реки медленное.

В нижнем же течении, за устьем крупнейшего притока реки Ухтомы, уже начинает сказываться подпор Рыбинского водохранилища, скорость течения реки резко падает, а ширина реки, по мере приближения к водохранилищу, увеличивается от 50 до 200 метров. На протяжении последних 30 километров Согожа становится судоходной рекой. Также в низовьях Согожи, а именно в месте впадения реки Сога расположен город Пошехонье, окрестности которого плотно заселены.

Также стоит отметить, что в период половодья в верхнем и среднем течении Согожи раньше производился сплав леса до села Бабка, где существовала «запань» – это поперечный затор из утопленных бревен. До сих пор экологические последствия многолетнего сплава леса сказываются на состоянии реки, так как русло местами забито утопленной древесиной.



Рис. 1.1.1 - Схема реки Согожа.

Общее описание реки Вохма:

Река Вохма протекает через Костромскую и Вологодскую области России. Она является правым притоком реки Ветлуга. Длина реки составляет 219 километров, а площадь бассейна 5560 км² (Рис. 1.1.2). Озёрность и заболоченность бассейна менее 1%, а залесённость доходит до 80%

Вохма берёт начало из болот глухого ненаселённого региона лесного Заволжья находящегося практически на границе Костромской и Вологодской областей.

В верховьях река протекает по сплошному лесу, берега очень сильно заболочены, однако по мере продвижения к устью они постепенно повышаются и становятся крутыми и местами даже обрывистыми. Вохма достаточно быстро становится полноводной рекой, после впадения правого притока, реки Вочи, ширина Вохмы увеличивается до 60 метров, средняя глубина увеличивается двух метров.

После устья Вочи, Вохма покидает зону сплошных лесов и на участке до посёлка Вохма, который находится в стороне от реки, лес по берегам перемежается с безлесными пространствами. На этом участке река образует значительные затоны, старицы и подковообразные излучины. Берега становятся пологими.

В районе впадения левого притока, реки Ирдом, характер берегов вновь меняется, они повышаются и покрываются лесом. Однако река всё равно продолжает образовывать затоны и старицы. Такой характер Вохма сохраняет до впадения в Ветлугу.

Весной Вохма сильно разливается и затапливает прилегающие к ней луга и низменности. В нижнем и среднем течении Вохмы существует нерегулярное судоходство.

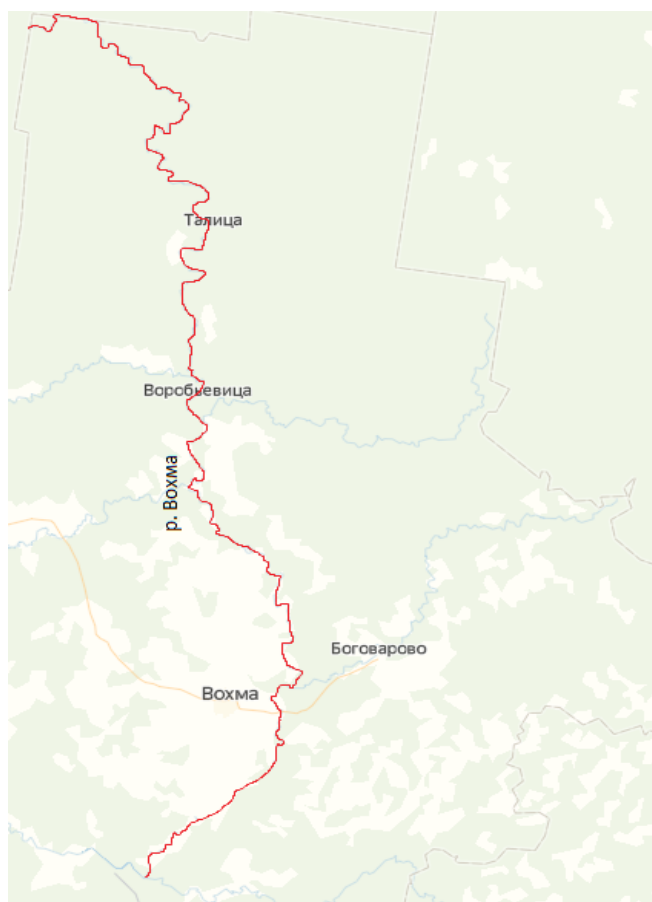


Рис. 1.1.2 - Схема реки Вохма.

Общее описание реки Которосль:

Река Которосль расположена в европейской части России в Ярославской области. Она образуется от слияния двух рек, вблизи озера Неро: Устья и Вёксы. Которосль является правым притоком Волги. Длина реки составляет около 126 километров, а площадь бассейна – 6370 км² (Рис. 1.1.3).

В верхнем течении ширина Которосль составляет уже около 30 метров, до устья реки Лахости берега безлесые, русло извилистое, течение слабое. В среднем течении, ниже города Гаврилов-Ям, Которосль течёт в глубокой

долине, практически не петляет. Берега становятся холмистыми, населённые участки чередуются с залесёнными. После посёлка Красные Ткачи река выходит на Ярославско-Костромскую низину, а ширина её увеличивается до 60 метров. Вплоть до самого устья находящегося в черте города Ярославль, Которосль течёт довольно медленно, образуя огромные подковообразные излучины. Ниже моста железной дороги Москва – Ярославль берега реки становятся полностью открытыми, русло реки, по мере приближения к Волге, постепенно расширяется.



Рис. 1.1.3 - Схема реки Которосль.

Общее описание реки Невежис:

Река Невежис расположена в Литве, она является правым притоком реки Неман и протекает по Среднелитовской низменности.

Длина реки составляет 210 километров, а площадь бассейна - 6140 км² (Рис. 1.1.4). Невежис считается шестой по протяженности рекой в Литве. Главными притоками Невежис являются такие реки как: Барупе, Упите, Аланта и др.

Невежис соединен каналами с двумя другими крупными реками, однако в течение жарких периодов уровень воды всё равно сильно падает и река становится очень мелкой. Средняя глубина Невежис, обычно составляет около 4-9 метров. Из-за низкого уровня воды, медленного течения и выбросов сельскохозяйственных отходов, река всё сильнее зарастает водорослями.

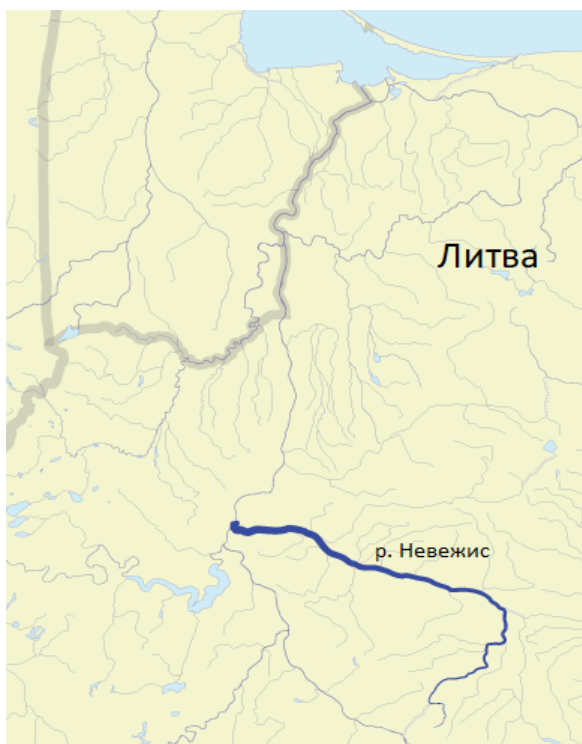


Рис. 1.1.4. Схема реки Невежис.

Общее описание реки Озёрка:

Эта река протекает в Нижегородской области России, она является левым притоком Кудьмы. Её длина составляет 74 км, а площадь бассейна – 1030 км² (рис. 1.1.5).

Исток реки расположен южнее деревни Городищи в 20 км к востоку от Дальнего Константинова. На этой реке расположено большое количество деревень и сёл Румянцево и Чернуха. Озёрка впадает в Кудьму у деревни Вередеево.

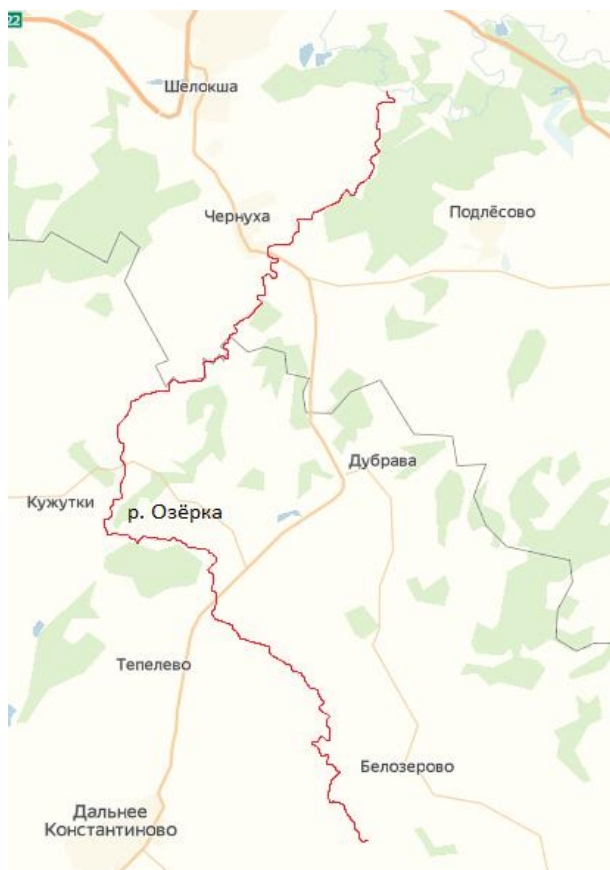


Рис. 1.1.5. Схема реки Озѣрка.

1.2 Расположение и основные гидрографические характеристики использованных пунктов наблюдений.

Пост №1 р. Согожа – д. Родионка:

Пост расположен в 1,0 км восточнее д. Родионки и в 0,8 км ниже устья реки Сегжи.

Прилегающая местность представляет собой всхолмленную равнину, изрезанную глубокими балками, занятую сельскохозяйственными угодьями и лугами, местами поросшую лесом и кустарником.

Долина реки пойменная, с пологими склонами, высотой до 20 м, покрытыми хвойным лесом и кустарником, частично распаханная; склоны сложены суглинком. Пойма на участке поста правобережная, шириной до 30 м, луговая, начинает затопляться при уровне воды 350 см.

Русло реки на участке поста прямолинейное, ложе песчано-галечное, зарастающее; ширина реки в межень составляет 25-27 м. Берега крутые, левый

высотой 4-6 м, правый 2-3 м, сложены супесчаным грунтом, левый берег покрыт кустарником.

В период весеннего паводка на участке и ниже водопоста наблюдаются заторы льда. Плотина, находившаяся выше водопоста, в 1957 году разрушена.

Водопост находится на правом берегу и состоит из свай и реперов в створе водопоста. Основной мет. репер №3 (рельс) УГМС ЦО 1957 года высотой 114,182 м БС (репер не устойчив, изменил свою высоту на 10 мм) и контрольный репер №2 УГМС ЦО 1956 года с высотой 114,050 м БС. Дер. репер №1 1956 года из оборудования поста исключён.

Высота нуля графика 106,48 м БС. Расстояние от устья – 59 км. Площадь водосбора – 814 км². Гидроствор №1 расположен в створе поста.

Схема расположения гидроствора на котором производились измерения представлена на рис. 1.2.1 (гидроствор расположен в створе основного водомерного поста).



Рис. 1.2.1. Схема расположения использованного гидроствора.

Пост №2 р. Вохма – д. Гробовщино:

Пост расположен в 2 км северо-восточнее д. Гробовщина, в 6,0 км ниже устья р. Ирдома.

Прилегающая местность – слабо развитая долина, по левобережью поросшая лесом, по правобережью – распаханная.

Долина реки неясно выраженная, сложена супесью и суглинками; склоны её пологие, незаметно сливающиеся с окружающей местностью, правый берег открытый, левый – покрытый лесом. Пойма реки двухсторонняя, луговая с кустарником ивняка, сложена суглинистыми и илистыми грунтами, заболоченная, шириной 0,5-1 км, затопляется при высоте уровня воды 450 см. В створе водопоста пойму пересекает дамба.

Русло реки на участке поста прямолинейное, песчано-илистое, слабдеформирующееся, незначительно зарастающее водной растительностью, засорено топьями. Ширина реки в межень 60-80 м. Берега песчаные, высотой 3-4 м, открытые.

В период ледохода у моста и выше образуются заторы льда. В 6 км выше водопоста расположена плотина ГЭС, оказывающая влияние на уровенный режим реки.

Водопост находится на левом берегу у деревянного моста и состоит из рейки, укрепленной на левобережном устое моста с низовой стороны, и реперов. Мет. репер №2 Горьк. УГМС 1953 года в створе водопоста с высотой 127,177 м БС, потайной мет. репер №3 Горьк. УГМС 1953 года в створе водопоста с высотой 127,045 м БС в 3,2 м от репера №2.

Высота нуля графика 119,81 м БС. Расстояние от устья – 37 км. Площадь водостбора – 5200 км². Гидроствор №1 расположен в 100 м, №3 – в 210 м ниже водопоста. Гидроствор №2 не используется. Схема расположения гидроствора на котором производились измерения представлена на рис. 1.2.2 (гидроствор расположен в створе основного водомерного поста).



Рис. 1.2.2. Схема расположения использованного гидроствора.

Пост №3 р. Которосль – г. Гаврилов Ям:

Пост расположен на северо-западной окраине города Гаврилов Ям.

Прилегающая местность – слабохолмистая равнина. Склоны долины умеренно крутые, сложенные суглинком. Левый склон занят пашней и городскими постройками, правый – городским парком.

Русло реки на участке поста прямолинейное, песчано-гравелистое, у берегов заиленное, зарастающее водной растительностью; ширина реки в межень составляет 50 м. Правый берег крутой, высотой 7-8 м, сложен суглинком; левый – умеренно крутой, высотой 5 м, одернован, сложен супесью, затопляется в отдельные годы на ширину до 20 м при высоте уровня воды 580 см. В 0,8 км ниже водопоста в отдельные годы образуются заторы льда. Плотина на р. Лахосте, в 10 км выше водопоста, разрушена.

Водопост находится на левом берегу в 215 м выше железнодорожного моста и состоит из свай и реперов. Основной мет. Репер №2 УГМЦ ЦО 1956

года (стержень, зацементированный в левобережном устье железнодорожного моста), в 215 м ниже водопоста, с высотой 100,71 м БС; контрольный мет. репер (рельс) №1 МУГМС 1954 года в створе водопоста с высотой 97,35 м БС.

Высота нуля графика 88,85 м БС. Расстояние от устья – 79 км. Площадь водосбора – 4860 км². Гидроствор №1 расположен в створе поста. Схема расположения гидроствора на котором производились измерения представлена на рис. 1.2.3 (гидроствор расположен в створе основного водомерного поста).



Рис. 1.2.3. Схема расположения использованного гидроствора.

Пост №4 р. Некежис – г. Паневежис:

Станция расположена на восточной окраине города, в 2 км выше впадения реки Жагенис и в 3,3 км ниже впадения реки Юоста.

В районе поста правый склон долины, высотой 8-10 м – крутой, левый пологий, незаметно сливающийся с окружающей равнинной местностью. Склоны долины открытые, сложены суглинками, левый берег задернован.

Пойма: левобережная шириной – 50 м, правобережная – 70 м, начинает затопляться при уровне воды 250 см над нулём графика.

Русло реки в районе поста прямолинейное, выше и ниже – извилистое. Берега, высотой 3-6 м, крутые и обрывистые, супесчаные.

Ложе песчано-каменистое, устойчивое, зарастает водной растительностью. В 0,5 км выше поста расположен остров длиной 400 м, сложенный песчано-гравелистыми и илистыми грунтами.

На ход уровней влияет работа мельницы, расположенной в 5 км выше поста.

В районе поста в отдельные годы образуются заторы льда.

Водопост находится на правом берегу и состоит из свай и реперов: жел. репера №5 1951 года на правом берегу, в 4 м выше поста, с отметкой 47,409 м абс., жел. репера №6. 1955 г. – забетонированного рельса с отметкой 50,220 м абс.

Отметка нуля графика 44,20 м абс. Расстояние от устья – 157 км. Площадь водосбора – 963 км².

Гидроствор №1 расположен в 1,2 км ниже, №2 – в створе водопоста. Схема расположения гидроствора на котором производились измерения представлена на рис. 1.2.4 (гидроствор расположен в 3,5 км ниже основного водомерного поста).

С целью исключения влияния работы мельничных плотин на ход уровня воды, водопост перенесён на 4,2 км выше существовавшего. С 09.11.1951 г. по 31.01.1953 г. Наблюдения над уровнем на новом посту проводились только при измерении расходов воды. Систематические измерения начаты с 01.02.1953 г. Уровни воды старого и нового постов между собой не увязаны.



Рис. 1.2.4. Схема расположения использованного гидроствора.

Пост №5 р. Озёрка – с. Чернуха:

Пост расположен на восточной окраине села и в 12,0 км ниже устья р. Пукстери.

Прилегающая местность представляет собой волнистую равнину, открытую, распаханную. В районе поста имеет место карст.

Долина реки трапецидальная, шириной 2,0-2,5 км. Склоны долины умеренно крутые, высотой 15-20 м. Пойма двухсторонняя; левобережная – шириной 200-300 м, правобережная – 1,0-1,5 км, луговая, занята сельскохозяйственными угодьями; начинает затопляться при уровне воды 430 см. Пойма пересечена насыпью (б.шоссе) высотой 4,0 м.

Русло умеренно извилистое, песчаное, слабо деформирующееся. Ширина реки в межень составляет 10-20 м. Берега русла суглинистые, обнажённые, левый – крутой, высотой 3,5-4,0 м, правый – пологий.

В летний период на участке поста в различных местах устанавливается временная насосная станция для забора воды на полив огородов. Расход воды на полив не учитывается. В 250 м ниже водопоста наблюдаются заторы льда.

Водопост свайный, расположен на левом берегу у дамбы (б.шоссе).

Высота нуля графика 69,63 м БС. Расстояние от устья – 11 км. Площадь водосбора – 977 км².

Гидроствор №1 расположен в створе, №4 – в 128 м выше водопоста. Гидростворы № 2 и 3 не используются.

Схема расположения гидроствора на котором производились измерения представлена на рис. 1.2.5 (гидроствор расположен в створе основного водомерного поста).

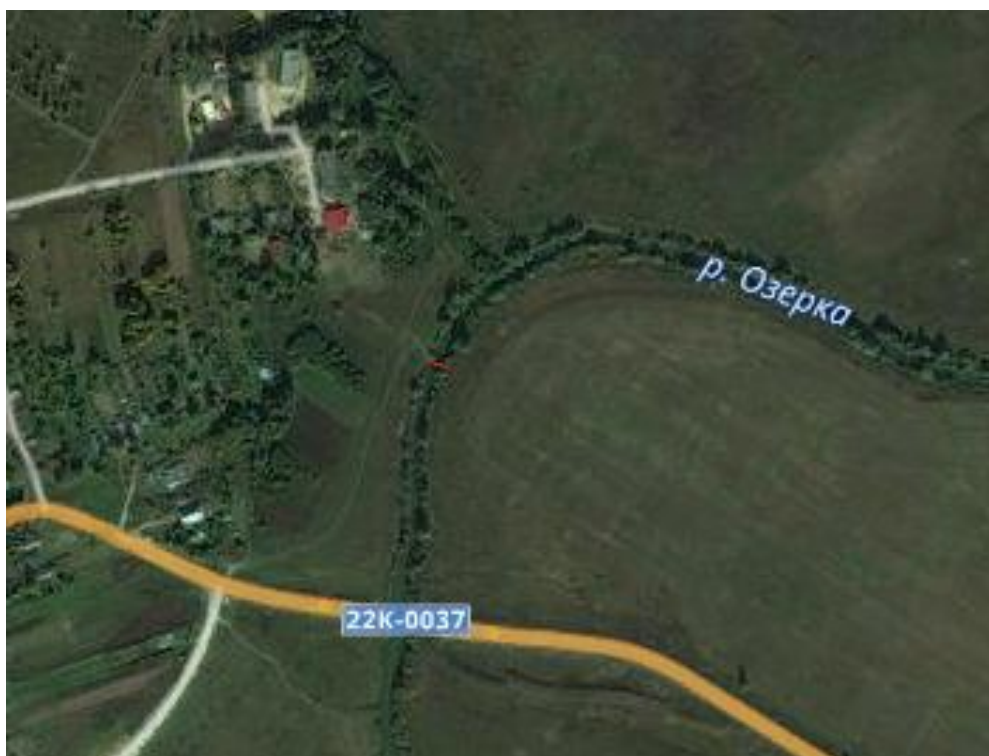


Рис. 1.2.5. Схема расположения использованного гидроствора.

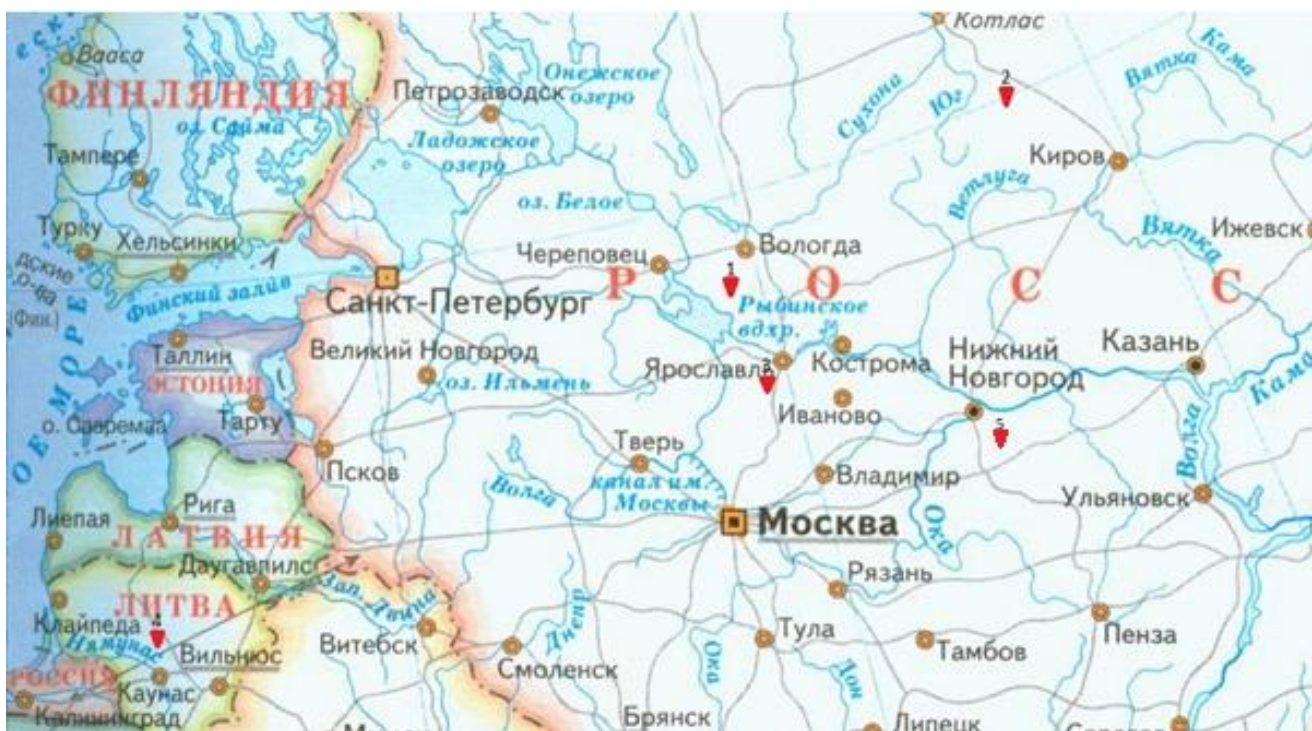


Рис. 1.2.6. Общая схема расположения использованы гидрологических постов.

2 Поля скоростей турбулентного руслового потока.

2.1 Распределение скоростей по глубине потока.

Распределение скоростей по сечению естественных русел зависит от целого ряда различных факторов: уклона водной поверхности, глубины и шероховатости дна. Помимо этих факторов действует ещё целый ряд дополнительных, а именно: русловые деформации, морфология русла и поймы, растительность в русле, ветер, ледяной покров и др. Все эти факторы оказывают сильное влияние на поле скоростей и затрудняют его теоретическое описание. В тоже время для решения ряда теоретических и практических задач необходимо знание расчётной эпюры скоростей. Такое положение дел и привело нас к аналитическому решению простейшей задачи распределения скоростей по глубине плоского потока с недеформируемым руслом, то есть фактически к определению зависимости:

$$\bar{u}=f(y,\frac{h}{\Delta}) \quad (2.1.1)$$

где \bar{u} – местная осреднённая скорость; y – ордината, отсчитываемая от дна потока; h – глубина потока; Δ – высота выступов шероховатости дна.

Но, как оказалось, и для этого простого случая теоретическое решение задачи отсутствует. Так как система уравнений Навье–Стокса, описывающих поле скоростей турбулентного потока незамкнута. Это вынуждает исследователей искать частные пути её решения, которые основаны на разных физических предположениях и допущениях, а также ещё и на анализе обширных натуральных экспериментальных материалов.

Одним из ранних путей решения системы уравнений Навье–Стокса явился вывод так называемого закона Лоренца, который до сих пор используется для получения формул, описывающих профиль распределения осреднённых во времени скоростей по глубине потока. Закон Лоренца – это уравнение равномерного движения турбулентного руслового потока:

$$\tau=-\rho(\overline{u'v'}) \quad (2.1.2)$$

где τ – касательное напряжение; ρ – плотность воды, u' – продольная пульсационная скорость, v' – поперечная пульсационная скорость.

Закон Лоренца был использован для вывода уравнения, описывающего профиль скоростей по глубине плоского потока турбулентного режима. После целого ряда преобразований Л. Прандтля мы получаем следующее равенство:

$$\frac{u_0 - \bar{u}}{V_d} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{h}{y} \quad (2.1.3)$$

Это равенство и называют универсальным законом распределения скоростей.

Большая часть исследователей считает, что логарифмическая кривая лучше всего соответствует натурным данным.

Однако можно найти в литературе и ряд других формул, рекомендованных разными авторами для описания профиля скоростей по глубине потока:

А.в. Караушевым предложена эллиптическая формула:

$$u = u_0 * \sqrt{1 - \left(0,57 + \frac{3,3}{c}\right) \left(1 - \frac{y}{h}\right)^2} \quad (2.1.4)$$

П. Базеном предложена параболическая формула:

$$u = u_0 - \frac{m * V}{c} (1 - y/h)^2 \quad (2.1.5)$$

А. Коллупайло предложена степенная формула:

$$u = a * V * y^{1/b} \quad (2.1.6)$$

где a , b – эмпирические коэффициенты; u_0 и V – соответственно максимальная и средняя скорости на вертикали; C – скоростной коэффициент Шеши; $m=24$ ($m * c^{-1}$) – параметр Базена.

Это далеко не полный перечень предложений по расчёту профилей распределения скоростей по глубине потока.

Таким образом, до настоящего времени нет единого решения системы уравнений движения и неразрывности с целью определения расчётного профиля распределения скоростей по глубине потока. Частные решения, основанные на различных допущениях, которые обычно приводят к значительно отличающимся результатам. Однако разные формулы, которые

описывают эпюру скоростей плоского потока, дают близкие результаты за исключением придонной области, где расхождения весьма велики не только между различными формулами, но и с натурными данными.

2.2 Поля скоростей в руслах прямоугольного сечения.

После рассмотрения теории плоского потока и методов, которые применяются для расчёта его полей скоростей, мы можем перейти к рассмотрению более сложных двумерных потоков, простейшими из которых являются потоки в руслах прямоугольного поперечного сечения. Русла равнинных рек обычно имеют большие значения относительных ширин ($2B/h$), достигающих до значения 100 и более. Хотя форма поперечного сечения таких русел и описывается параболической зависимостью, но, всё же, в первом приближении она может быть заменена прямоугольным сечением. Русла искусственных каналов очень часто близки к прямоугольной форме сечения.

Рассмотрим методы расчёта полей скоростей прямолинейных, равномерных потоков прямоугольной формы сечения.

Были приняты следующие обозначения (рис. 2.2.1): $2B$ – ширина потока; h – глубина; Δ_c и Δ_d – соответственно высота выступов шероховатости стенок и дна; y – ордината, направленная от дна к поверхности потока; z – аппликата, направленная от стенок в толщу потока. Её значение изменяется от 0 (на стенках) до значения B (середина потока); u_0 , v , u – соответственно максимальная, средняя и местная скорости на потоках на вертикалях; u_{00} и V – соответственно максимальная и средняя скорости всего потока.

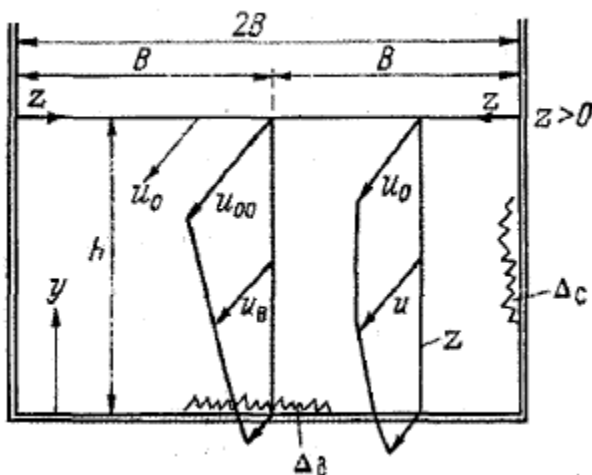


Рис. 2.2.1. Эпюры скоростей потока в русле прямоугольной формы сечения.

Для выведения формул, описывающих распределение скоростей потока по его сечению, были введены следующие допущения:

1 – поток симметричен, т.е. характер изменения скоростей и других его параметров в правой и левой частях идентичен;

2 – значение местной скорости на вертикали зависит только от средней скорости и от расстояния до тормозящей стенки. Следовательно, на все частицы жидкости, находящейся на скоростной вертикали, боковые стенки оказывают одинаковое воздействие. Максимальные скорости в этом случае находятся на наибольшем удалении от тормозящей стенки, т.е. на поверхности, а максимальная скорость всего потока – на поверхности осевой вертикали.

После введения этих допущений становится возможным применение формул, полученных для плоского потока, к расчёту распределения скоростей по вертикалям и горизонталям.

Например, используя логарифмическую зависимость Гончарова, после ряда преобразований, получим формулу для расчёта поля скоростей потока прямоугольного сечения:

$$u = V * \frac{\ln\left(\frac{16,7y}{\Delta_d} + 1\right)}{\ln\left(\frac{6,15h}{\Delta_d}\right)} * \frac{\ln\left(\frac{16,7z}{\Delta_c} + 1\right)}{\ln\left(\frac{6,15B}{\Delta_c}\right)} \quad (2.2.1)$$

Оценка применимости расчётных методов:

Вывод формул для расчёта полей скоростей и сопротивлений, а также для расчёта средних скоростей и полных значений сопротивлений русел прямоугольного сечения движению потоков в них выполнен на основе ряда допущений. Именно поэтому важно сравнивать результаты расчётов с экспериментальными данными. Следует отметить, что любая гипотеза, любое расчётное выражение может быть использовано для расчётов только в том случае, если расчётные данные имеют достаточно приемлемую сходимость с экспериментальными данными.

Сравнение и анализ расчётных величин скоростей, полученных по формуле Гончарова, находятся в хорошем соответствии с экспериментальными данными, для широких потоков ($2B/h \geq 8-10$) (рис.2.2.2). Однако стоит отметить два момента:

1 – в пристенных областях экспериментальные поля скоростей и касательных напряжений сопротивлений существенно отличаются от расчётных;

2 – экспериментальные изотакси имеют волнообразный вид, а на расчётных изотаках, волны отсутствуют.



Рис. 2.2.2. Поля скоростей в открытом потоке прямоугольного сечения ($2B/h \gg 10$). 1 – экспериментальные данные; 2 – расчётные данные; 3 – вторичные течения.

Если первое несоответствие объясняется недостаточным учётом влияния боковых стенок, то второе – наличием в потоке восходящих и нисходящих вторичных течений, накладывающихся на основное продольное. На рис. 2.2.2 мы можем наблюдать чередование подъёмов и понижений изотакс. Подъёмы изотакс обусловлены восходящими вторичными течениями, а их понижения – нисходящими вторичными течениями. Эти нисходящие и восходящие вторичные течения являются пространственными, а их проекции на плоскость поперечного сечения как бы образуют замкнутые циклы. Число таких циклов в сечении всегда чётное.

Для узких же потоков расхождение между расчётными и экспериментальными скоростями потока весьма значительно. Это связано с тем, что при малых соотношениях ($2B/h$) на дне и стенках в потоке образуются неуравновешенные касательные напряжения, которые, в свою очередь, являются причиной появления вторичных циркуляционных течений, стремящихся уменьшить величину неуравновешенных касательных напряжений.

Таким образом, расчётные методики могут быть с успехом применены к широким равномерным потокам, а для узких потоков, в методики придётся вносить существенные коррективы, т.е. последние нельзя рассчитывать по формулам, разработанным для плоских потоков.

2.3 Распределение скоростей по сечению руслового потока.

Расчёт полей скоростей в естественных руслах проводить значительно сложнее, в отличие от русел прямоугольной формы сечения. Однако решение данной задачи вполне можно свести к нахождению кривой распределения средних на вертикалях скоростей по ширине потока.

Рассмотрим методику, предложенную А.В. Караушевым для расчёта распределения средних скоростей по ширине потока в руслах простых форм сечения (на основе этой методики и будут проводиться дальнейшие расчёты в данной работе). Формула Шези приемлема для отдельной вертикали при условии, что в зоне её расположения течение близко к равномерному:

$$V_i = C_i \sqrt{h_i I} \quad (2.3.1)$$

где V_i – средняя скорость на вертикали; C_i – коэф. Шези; h_i – глубина на i -той вертикали.

С учётом формулы Н.Н. Павловского для расчёта коэффициента Шези получим:

$$V_i = \frac{h_i^{0,5+y} * I^{0,5}}{n_i} \quad (2.3.2)$$

Определив h_i и n_i по данным о профиле сечения, грунтах, описательной характеристики русла и таблице коэффициентов шероховатости, а также приняв уклон свободной поверхности постоянным по всей ширине потока, что для прямолинейного участка реки простейшей формы сечения является приемлемым, можно рассчитать расход воды через данное сечение реки:

$$Q = I^{0,5} \sum_{i=1}^m \frac{h_i^{0,5+y}}{n_i} f_i \quad (2.3.3)$$

где m – число участков, на которые было разделено поперечное сечение; f_i – площадь сечения между скоростными вертикалями.

Если при этом известен ещё и фактический расход воды, то принимаем полученные значения по таблицам (n_i) условными ($n_{i \text{ усл.}}$), находящимися с истинными значениями n_i в соотношении:

$$n_i = n_{i \text{ усл.}} / k_i \quad (2.3.4)$$

где k_i – постоянный поправочный коэффициент для всех участков.

Приняв $k_i = k * I^{0,5}$, получим после преобразования следующее выражение:

$$k=Q/(\sum_{i=1}^m \frac{h_i^{0,5+y}}{n_i} f_i) \quad (2.3.5)$$

После определения значение k , мы можем вычислить как средние скорости на участках, так и средние на вертикалях скорости потока по формуле (2.3.6) и построить эпюру их распределения по ширине реки (рис. 2.3.1).

$$V_i=k \frac{h_i^{0,5+y}}{n_{i\text{ усл.}}} \quad (2.3.6)$$

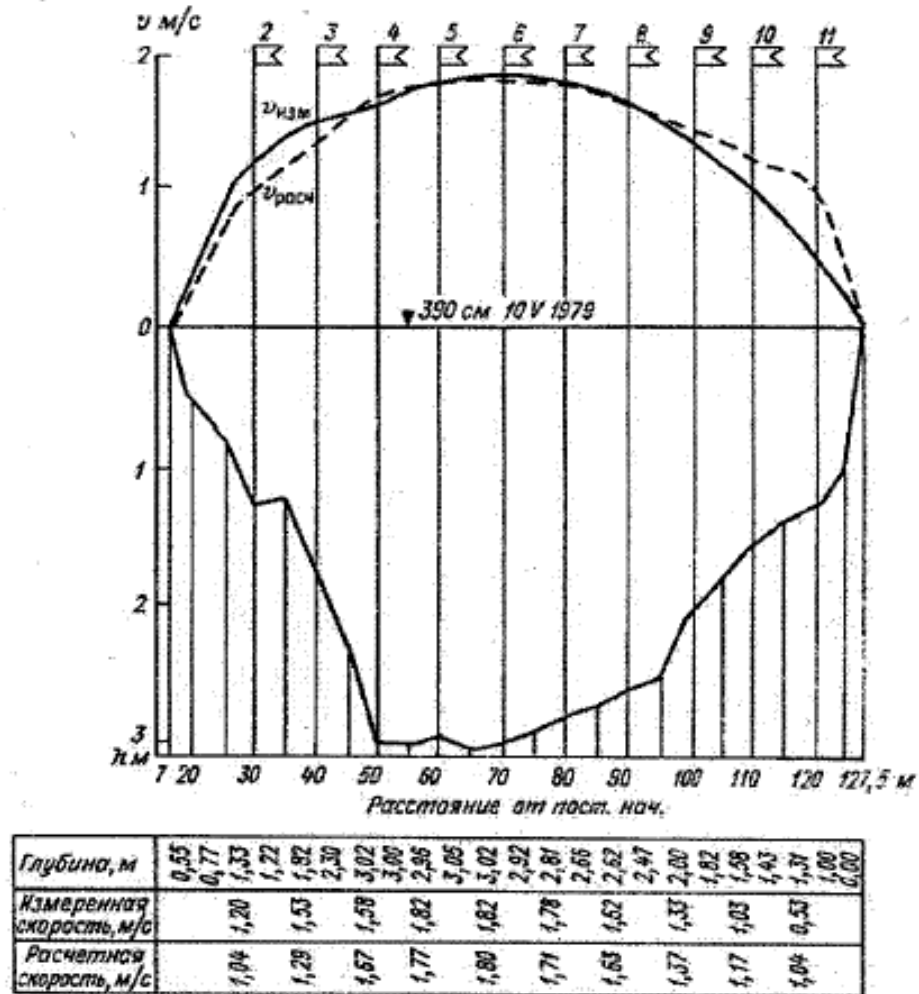


Рис. 2.3.1. Построение профиля поперечного сечения на примере реки Лебедь у с. Усть-Лебедь и эпюры распределения средних на вертикалях скоростей по ширине потока.

На примере р. Лебедь у с. Усть-Лебедь мы видим, что данная методика даёт вполне хороший результат. Отклонения расчётных данных от фактических существенны только в прибрежных отсеках, а в целом расчётная эпюра близка к полученной по данным измерений. Такая ситуация довольно часто

встречается при использовании этой методике, т.е. она завышает значения скоростей у берегов и занижает их по центру потока.

Однако в данной методике не учитывается влияние берегов и турбулентного взаимодействия между смежными отсеками потока, и самое важное – она приемлема только для условий равномерного движения. Помимо этого, расчёт по данной методике достаточно затруднителен, это в основном связано с нехваткой исходных данных, а также с достаточной трудоёмкостью подсчётов. А погрешности могут достигать весьма внушительных значений. Всё это наталкивает нас на поиск более простых, а вместе с тем и более точных методов расчёта средних скоростей на вертикалях по ширине потока.

3 Расчётная методика.

3.1 Анализ исходных данных.

Исходными данными данной работы служили расходомерные книжки КГ-3м по следующим гидрологическим постам:

- 1) р. Согожа – д. Родионка за 1959-1960 года;
- 2) р. Вохма – д. Гроровщино за 1952-1953 года;
- 3) р. Которосль – г. Гаврилов Ям за 1955, 1959 года;
- 4) р. Невежис – г. Паневежис за 1953 год;
- 5) р. Озёрка – с. Чернуха за 1967 год.

Стоит отметить, что для расчётов использовались данные за период: начиная от полного освобождения реки ото льда и заканчивая началом межени, также исключались все дни, в которые производился лесосплав или наблюдался редкий ледоход.

По результатам базового анализа, а именно, построения поперечных профилей с нанесением эпюр распределения средних фактических на вертикалях скоростей по ширине потока за каждый день, а также построения совмещенного поперечного профиля было выявлено, что пост на р. Озёрка – с. Чернуха за 1967 год не подходит для дальнейших расчётов. На этом посту наблюдается не характерное для данного региона изменение глубин, которое мы получили на совмещённом графике поперечных профилей (рис. 3.1.1). А так как в этом районе русло реки охарактеризовано как слабдеформирующееся, то можно сделать вывод о том, что в ходе проведения измерений были допущены серьёзные ошибки. Так как не удалось определить, в чём именно заключается ошибка в исходных данных и следовательно, по возможности устранить её, дальнейшие расчёты, т.е. непосредственно сама разработка методики производилась на основании данных, взятых по оставшимся четырём пунктам наблюдений.

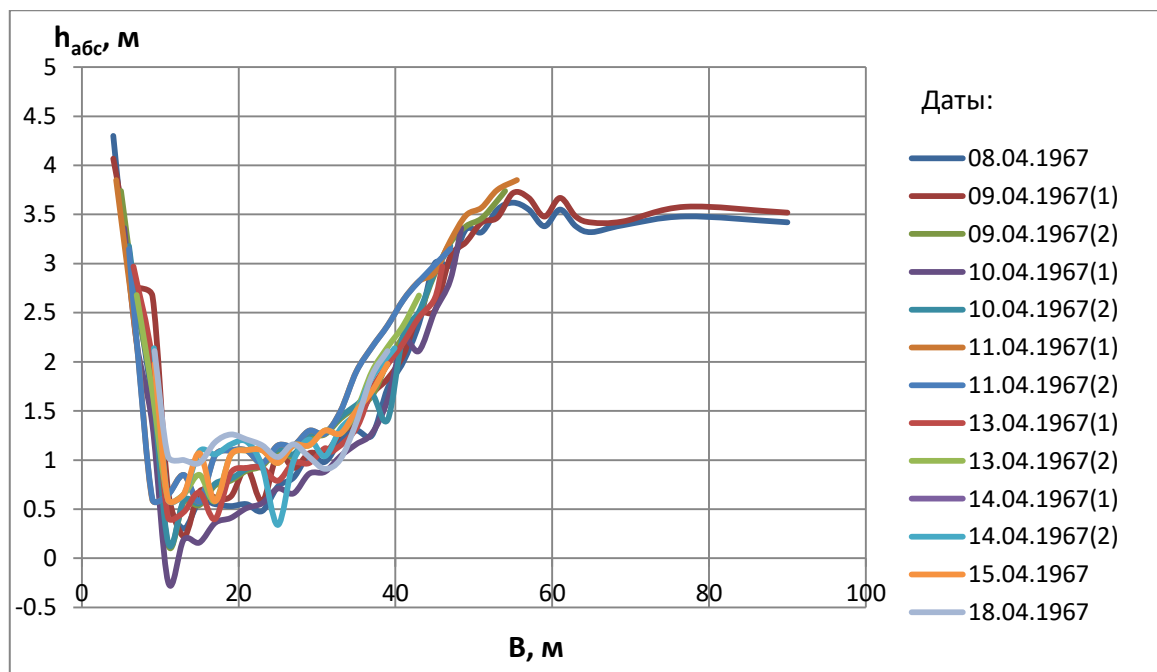


Рис. 3.1.1. Совмещённый график хода поперечных профилей р. Озёрка – с. Чернуха за 1967 год

3.2 Вывод расчётной методики.

В данной работе за основу, для выполнения дальнейших расчётов была взята методика А.В. Карашева, которая, как рассматривалось ранее, основана на формуле Шези.

$$V_i = C * (h_i * I)^{1/2} \quad (3.2.1)$$

где V_i – средняя скорость на вертикали; C – коэффициент Шези; h_i – глубина на i -той вертикали, I – уклон водной поверхности.

С учетом формулы Манинга для расчета коэффициента Шези получим:

$$V_i = h_i^{2/3} * I^{1/2} / n_i \quad (3.2.2)$$

где n_i – коэффициент шероховатости.

Также данную формулу можно представить в виде:

$$V_{cp} = h_{cp}^{2/3} * I^{1/2} / n \quad (3.2.3)$$

где h_{cp} – средняя глубина.

Учитывая, что уклоны водной поверхности либо не измеряются, либо погрешности их измерений велики, а точность определения коэффициентов

шероховатости крайне низкая, было решено принять $I^{1/2}/n=K$. Тогда $V_{cp}=K*h_{cp}^{2/3}$. Отсюда $K=V_{cp}/h_{cp}^{2/3}$. Далее было сделано допущение, основанное на разработках отечественных исследователей, о том, что коэффициент K может быть так же применен к расчету средних на вертикалях скоростей потоков, то есть:

$$V_i=K*h_i^{2/3} \quad (3.2.4)$$

Здесь V_i и h_i – средние на вертикалях скорости и глубины русловых составляющих потоков.

Также был определён средний коэффициент (K_{cp}) по формуле:

$$K_{cp}=\Sigma K_i/m \quad (3.2.5)$$

где m – это количество значений K_i .

После расчёта коэффициентов K_i и K_{cp} для каждой реки был произведён пересчёт скоростей по формуле (3.2.4) и построены эпюры распределения средних на вертикалях скоростей по ширине потока.

В результате сравнения расчётных скоростей с фактическими оказалось, что на реках Невежис и Согожа данная методика не эффективна и её применение не рекомендуется. На р. Вохма в отдельные дни также наблюдаются сильные отклонения расчётных значений от фактических. И только на р. Которосль эта методика показала достаточно хороший результат, что, вполне позволяет производить по ней расчёты.

Так как, в целом, результаты расчётов с использованием K_{cp} оказались хуже, чем при использовании K_i , в дальнейших расчётах полученные значения скоростей с использованием этого коэффициента не использовались.

После анализа полученных результатов, стало понятно, что в ряде случаев, при расчёте по данной методике происходит явное завышение и занижение расчётных скоростей по сравнению с фактическими. Чтобы этого не происходило, был введён дополнительный коэффициент (a). Суть ввода этого коэффициента состояла в том, чтобы свести сумму разниц (ΔV) расчётных и фактических скоростей к 0, т.е. получить равенство площадей F_1 и F_2 (рис. 3.2.1). Данный коэффициент был введён с помощью функции “подбор параметров” в excel и расчётная формула приобрела следующий вид:

$$V_i=a*K*h_i^{2/3} \quad (3.2.6)$$

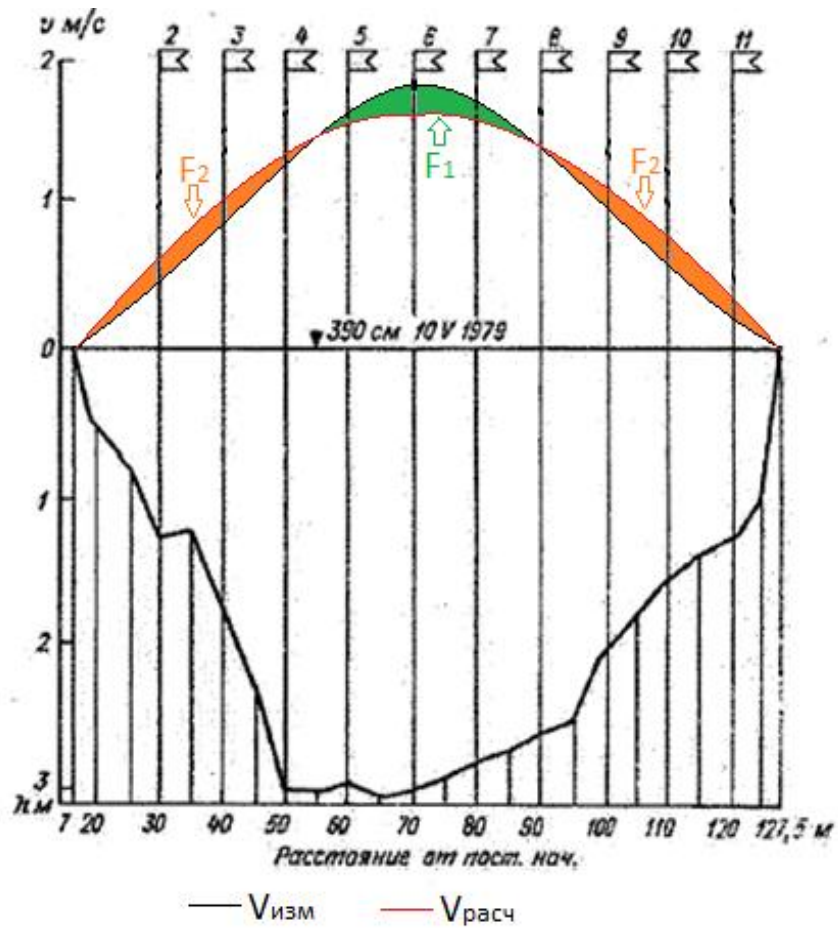


Рис. 3.2.1. Эпюры распределения фактических и расчётных средних на вертикалях скоростей по ширине потока.

После введения этого, коэффициента результаты расчётов заметно улучшились, в особенности это стало заметно на реках Нежежис и Согожа, так как именно на этих реках происходили значительные занижения и завышения расчётных скоростей. Примеры расчётов, которые выполнены на этих реках до введения коэффициента (а) и после, приведены в таблице №3.2.1 и таблице №3.2.2.

Таблица №3.2.1. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по р. Невежис – г. Паневежис на 16.11.1953г.

Расстояние от П.Н., м	h	$V_{\text{изм}}, \text{ м/с}$	$V_1, \text{ м/с}$	$V_2, \text{ м/с}$
9,6	0	0	0	0
10	-0,04		0,018	0,028
11	-0,08		0,028	0,044
12	-0,12	0,074	0,037	0,058
13	-0,18		0,048	0,076
14	-0,21		0,053	0,084
15	-0,23		0,057	0,090
16	-0,22		0,055	0,087
17	-0,15		0,043	0,067
18	-0,15		0,043	0,067
19	-0,19		0,050	0,079
20	-0,26	0,030	0,062	0,097
21	-0,23		0,057	0,090
22	-0,26	0,076	0,062	0,097
23	-0,22		0,055	0,087
24	-0,21	0,113	0,053	0,084
25	-0,22		0,055	0,087
26	-0,24	0,136	0,058	0,092
27	-0,29		0,066	0,105
28	-0,08		0,028	0,044
28,4	0	0	0	0

V_1 – расчётная скорость, определённая по формуле (3.2.4)

V_2 – расчётная скорость, определённая по формуле (3.2.6)

Для большей наглядности по таблице №3.2.1 был построен совмещённый график изменения средних на вертикалях скоростей по ширине потока (рис. 3.2.2).

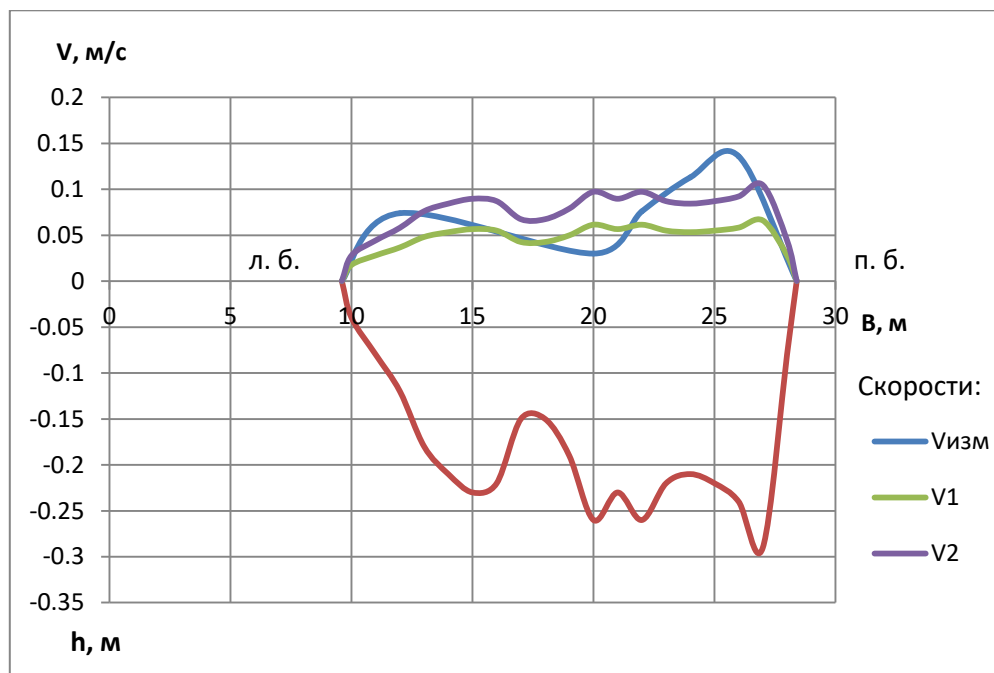


Рис. 3.2.2. Поперечный профиль сечения и совмещённый график хода средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Невежис – г. Паневежис за 16.11.1953г.

На рис. 3.2.2. видно, что расчётная формула (3.2.4) даёт явно заниженные значения скоростей. После же применения расчётной формулы (3.2.6) результаты заметно улучшаются. Расчётная эпюра распределения средних на вертикалях скоростей заметно лучше ложится на фактическую эпюру. Собственно поэтому введение коэффициента (α) и необходимо при выполнении дальнейших расчётов.

Таблица №3.2.2. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по р. Согожа – д. Родионка на 22.04.59г.

Расстояние от П.Н., м	h, м	$V_{изм}$, м/с	V_1 , м/с	V_2 , м/с
35	0	0	0	0
36	-0,19		0,227	0,201
38	-0,25		0,273	0,241
40	-0,67	0,800	0,526	0,465
42	-1,08		0,723	0,639
44	-2,02	1,04	1,10	0,969
46	-2,98		1,42	1,26
48	-3,03	1,59	1,44	1,27
50	-3,08		1,45	1,28
52	-3,03	1,36	1,44	1,27
54	-2,98		1,42	1,26
56	-3,00	1,44	1,43	1,26
58	-3,03		1,44	1,27
60	-2,98	1,36	1,42	1,26
62	-2,99		1,43	1,26
64	-3,03	1,18	1,44	1,27
66	-3,01		1,43	1,26
68	-2,98	0,880	1,42	1,26
70	-2,41	0,460	1,24	1,09
72	-1,28		0,810	0,715
74	0	0	0	0

По таблице №3.2.2 был построен совмещённый график хода средних на вертикалях скоростей по ширине потока (рис. 3.2.3).

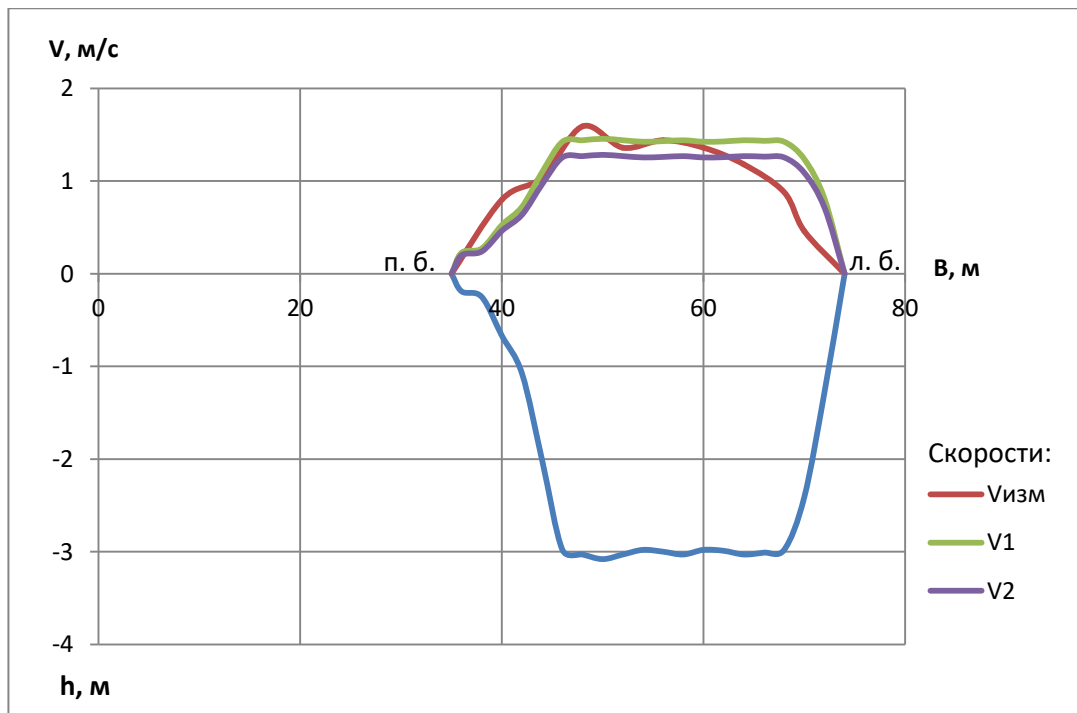


Рис. 3.2.3. Поперечный профиль сечения и совмещённый график хода средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Согожа – д. Родионка за 22.04.59г.

На рис. 3.2.3 видно, что расчётная формула (3.2.4) даёт явно завышенные значения скоростей. Но также и при расчёте по формуле (3.2.6) мы не получаем хорошего результата, хотя в целом, эта формула и не завышает и не занижает результаты расчётов.

Следовательно, даже после ввода коэффициента (a), как мы видим на рис. 3.2.1, расчётная формула, в большинстве случаев, всё равно будет завышать расчётные значения скоростей у берегов и занижать их по центру реки. Чтобы максимально уменьшить эту разницу, было принято решение построить графики связи $\Delta V_i/V_{cp}=f(h_i/h_{cp})$ за каждый день, т.е. через полученные точки на графике была проведена линия тренда, получено её уравнение и коэффициент детерминации. Для удобства и единства расчётов использовалась только линейная линия тренда. К сожалению, хорошую зависимость $\Delta V_i/V_{cp}=f(h_i/h_{cp})$ удалось получить только на реке Вохма – д. Гробовщино, на остальных реках она является слабой, а иногда и не прослеживается вовсе, причина этого не выявлена. Поэтому эти реки пришлось исключить из дальнейших расчётов. Также стоит отметить, что как только вода в русле начинает взаимодействовать с поймой, данная зависимость пропадает. Поэтому, в

дальнейших расчётах не использовались данные, полученные при выходе воды на пойму.

В итоге, по оставшемуся ряду данных на р. Вохма – д. Грбовщино был построен совмещённый график связи $\Delta V_i/V_{cp}=f(h_i/h_{cp})$ представленный на рис. 3.2.4.

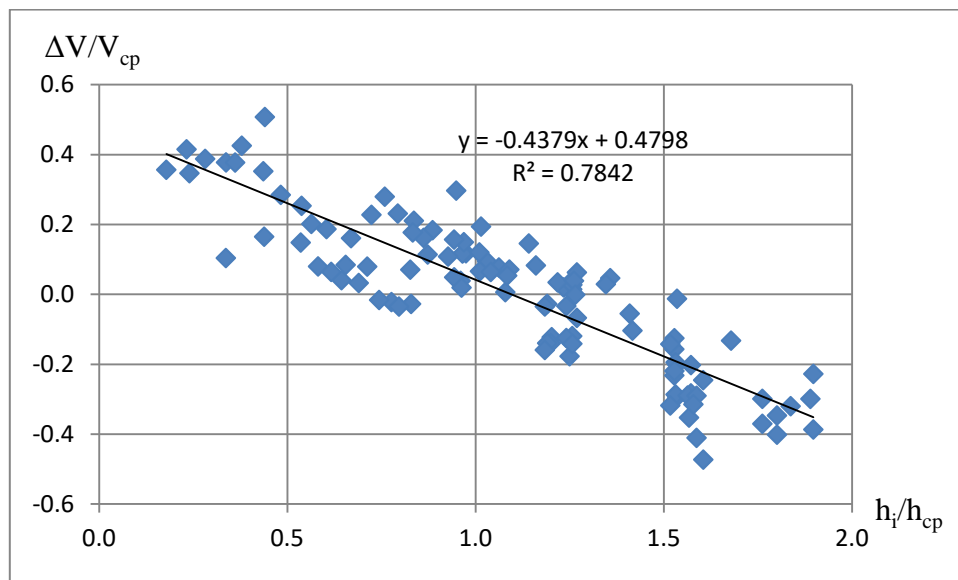


Рис. 3.2.4. Графики связи $\Delta V/V_{cp}=f(h_i/h_{cp})$ по р. Вохма – д. Грбовщино.

После чего, стало возможным произвести пересчёт значений $\Delta V_i/V_{cp}$ по уравнению линии тренда, которое получено с совмещённого графика связи $\Delta V_i/V_{cp}=f(h_i/h_{cp})$, за любой день. А затем, для выделения значения ΔV_i полученные отношения $\Delta V_i/V_{cp}$ необходимо умножить на V_{cp} за данный день. Тем самым, стало возможным получение поправок, которые необходимо прибавить к значениям, рассчитанным по формуле (3.2.6). Также было сделано допущение, что при выполнении расчётов, коэффициент (а) можно заменить на (a_{cp}), определённый по формуле:

$$a_{cp} = \sum a_i / m \quad (3.2.7)$$

где m – это количество значений a_i .

Т.е. расчётная формула приняла следующий вид:

$$V_i = a_{cp} * K * h_i^{2/3} + \Delta V_i \quad (3.2.8)$$

В таком виде, эту расчётную формулу можно применять для дальнейших расчётов даже при отсутствии данных по измеренным скоростям. Также стоит

отметить, что при наличии измеренных скоростей, рекомендуется использовать формулу:

$$V_i = a * K * h_i^{2/3} + \Delta V_i \quad (3.2.9)$$

где коэффициенты (a) и ΔV_i определены непосредственно только по данным измерений за конкретный день, т.е. для определения ΔV_i строится отдельная зависимость $\Delta V_i / V_{cp} = f(h_i / h_{cp})$.

Для наглядной оценки эффективности расчётных формул в таблице № 3.2.3 приведены результаты расчётов, выполненные по р. Вохма – д. Грбовщино на 12.05.1952г.

Таблица №3.2.3. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Грбовщино за 12.05.1952г.

Расстояние от п.н., м	$V_{изм}$, м/с.	$V_{раст1}$, м/с	$V_{раст2}$, м/с	$V_{раст3}$, м/с
8	0	0	0	0
10	0,487	0,263	0,511	0,438
15		0,417	0,585	0,529
20	0,535	0,575	0,645	0,609
25		0,668	0,675	0,652
30	0,728	0,694	0,682	0,663
35		0,744	0,695	0,684
40	0,768	0,792	0,707	0,704
45		0,862	0,722	0,730
50	0,757	0,902	0,729	0,745
55		0,902	0,729	0,745
60	0,706	0,902	0,729	0,745
65		0,862	0,722	0,730
70	0,677	0,792	0,707	0,704
75		0,719	0,689	0,674
80	0,660	0,662	0,673	0,649
85		0,588	0,650	0,616
90	0,513	0,507	0,621	0,576
95		0,283	0,522	0,451
99,3	0	0	0	0

Расчёт скоростей V_1 , V_2 , и V_3 в таблице №3.2.1 производился по формулам (3.2.4), (3.2.8) и (3.2.9) соответственно. Стоит отметить, что при расчёте по формуле (3.2.8) значения $\Delta V/V_{cp}=f(h_i/h_{cp})$ и коэффициент (a) за данный день были исключены из общих расчётов, с целью проверки эффективности формулы при отсутствии данных по измеренным скоростям.

По результатам расчётов был построен совмещённый график хода фактической и расчётных скоростей по ширине потока (рис. 3.2.5), для большей наглядности профиль поперечного сечения не строился.

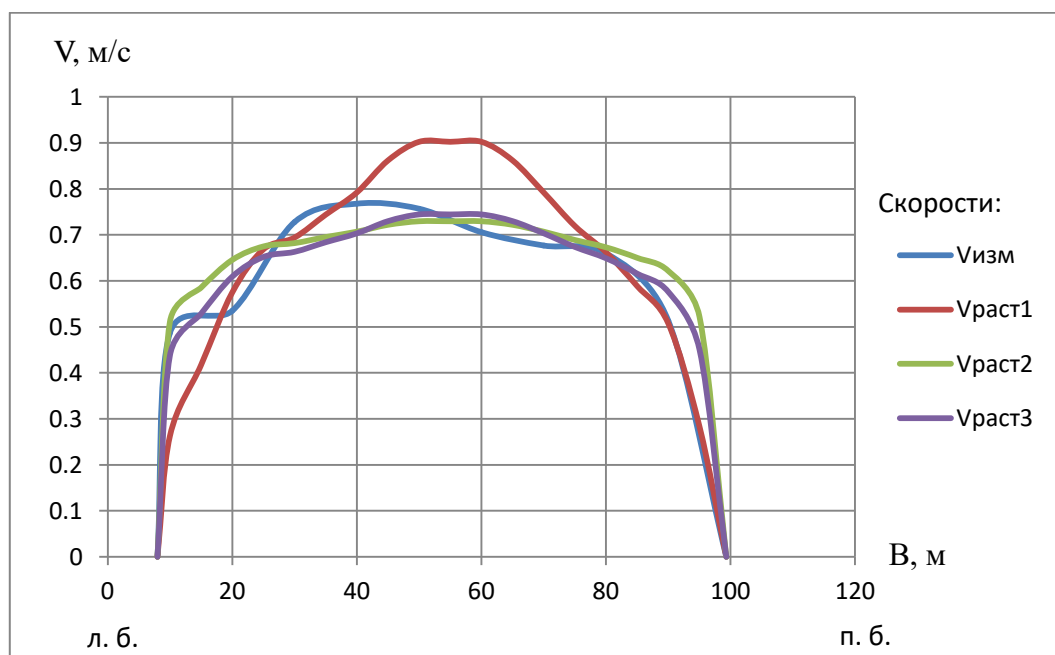


Рис. 3.2.5. График хода фактической и расчётных скоростей по ширине потока.

Как мы видим, на рис. 3.2.5 скорости ($V_{расч1}$), определённые по формуле (3.2.4), сильнее всего отклоняются от фактических скоростей. А скорости, рассчитанные по формулам (3.2.8) и (3.2.9) очень хорошо ложатся на фактические, что позволяет получать по данным формулам очень точные результаты.

Однако стоит отметить, что коэффициенты (a_i) и (a_{cp}) в формулах (3.2.8) и (3.2.9) на данный день были достаточно близки по значениям и составляли 0,95 и 0,96 соответственно. Следовательно, необходимо проанализировать эффективность расчётной формулы (3.2.8) в случае, когда отклонение коэффициента (a_{cp}) от (a_i) максимально:

1) Когда $a_{cp} < a_i$:

Максимальное отклонение (a_{cp}) от (a_i) было 09.06.1952 г. и составило -0,7. Результаты расчётов средних скоростей за 09.06.1952 г. по р. Вохма – д. Грбовщино приведены в таблице №3.2.4.

Таблица №3.2.4. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Грбовщино за 09.06.1952г.

Расстояние от п.н., м	$V_{изм}, \text{ м/с.}$	$V_{раст1}, \text{ м/с}$	$V_{раст2}, \text{ м/с}$	$V_{раст3}, \text{ м/с}$
15,2	0	0	0	0
20	0,369	0,283	0,409	0,437
25		0,403	0,458	0,474
30	0,529	0,434	0,470	0,481
35		0,493	0,489	0,493
40	0,542	0,548	0,505	0,501
45		0,627	0,524	0,507
50	0,523	0,664	0,532	0,509
55		0,672	0,534	0,509
60	0,453	0,672	0,534	0,509
65		0,627	0,524	0,507
70	0,481	0,548	0,505	0,501
75		0,464	0,480	0,488
80	0,514	0,395	0,456	0,472
85		0,301	0,417	0,444
90	0,392	0,185	0,359	0,395
91,8	0	0	0	0

Расчёт скоростей V_1 , V_2 , и V_3 в таблице №3.2.4 производился точно таким же образом, как и в таблице №3.2.3. По результатам расчётов был построен совмещённый график хода фактической и расчётных скоростей по ширине потока (рис. 3.2.6).

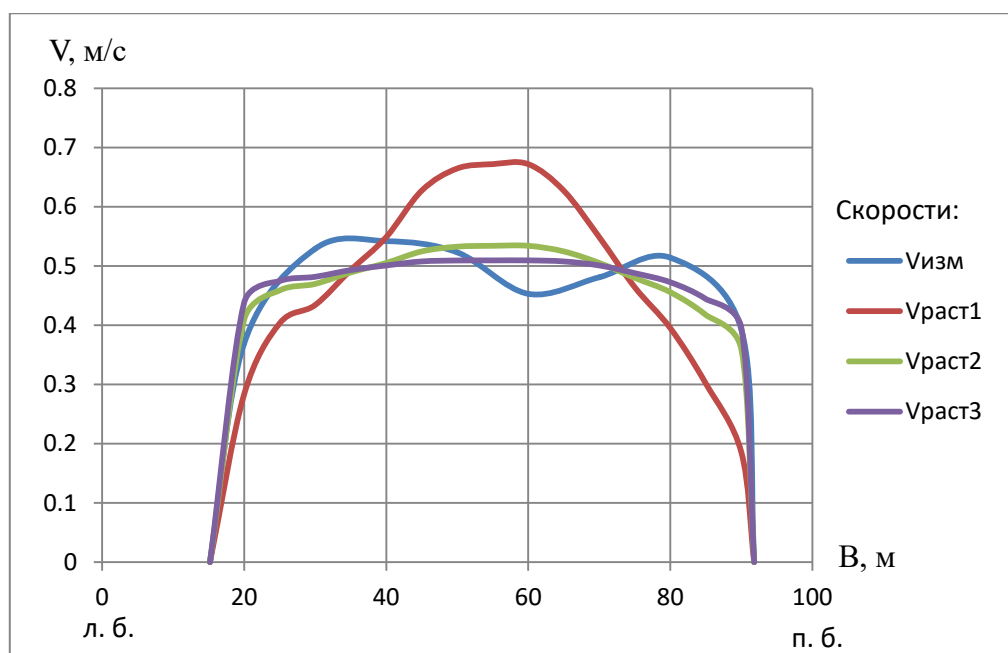


Рис. 3.2.6. График хода фактической и расчётных скоростей по ширине потока.

Как мы видим, в целом, на рис. 3.2.6 скорости ($V_{раст1}$), определённые по формуле (3.2.4), сильнее всего отклоняются от фактических скоростей. А скорости, рассчитанные по формулам (3.2.8) и (3.2.9) вполне неплохо ложатся на фактические, что позволяет получать по данным формулам достаточно точные результаты.

2) Когда $a_{cp} > a_i$:

Максимальное отклонение (a_{cp}) от (a_i) было 04.05.1953 г. и составило 0,1. Результаты расчётов средних скоростей за 04.05.1953 г. по р. Вохма – д. Грбовщино приведены в таблице №3.2.5.

Таблица №3.2.5. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Грбовщино за 04.05.1953г.

Расстояние от п.н., м	$V_{изм}$, м/с.	$V_{раст1}$, м/с	$V_{раст2}$, м/с	$V_{раст3}$, м/с
9,7	0	0	0	0
10		0,189	0,424	0,469
15		0,354	0,505	0,538
20	0,492	0,529	0,570	0,590
25		0,648	0,604	0,615
30	0,645	0,655	0,606	0,617
35		0,736	0,624	0,629
40	0,672	0,799	0,635	0,637
45		0,872	0,647	0,643
50	0,646	0,920	0,653	0,646
55		0,923	0,653	0,646
60	0,601	0,917	0,652	0,646
65		0,819	0,639	0,639
70	0,64	0,732	0,623	0,629
75		0,625	0,598	0,611
80	0,671	0,579	0,586	0,602
85		0,537	0,573	0,592
90		0,364	0,510	0,542
95		0,254	0,459	0,499
98	0	0	0	0

Расчёт скоростей V_1 , V_2 , и V_3 в таблице №3.2.5 производился точно таким же образом, как и в таблице №3.2.3. По результатам расчётов был построен совмещённый график хода фактической и расчётных скоростей по ширине потока (рис. 3.2.7).

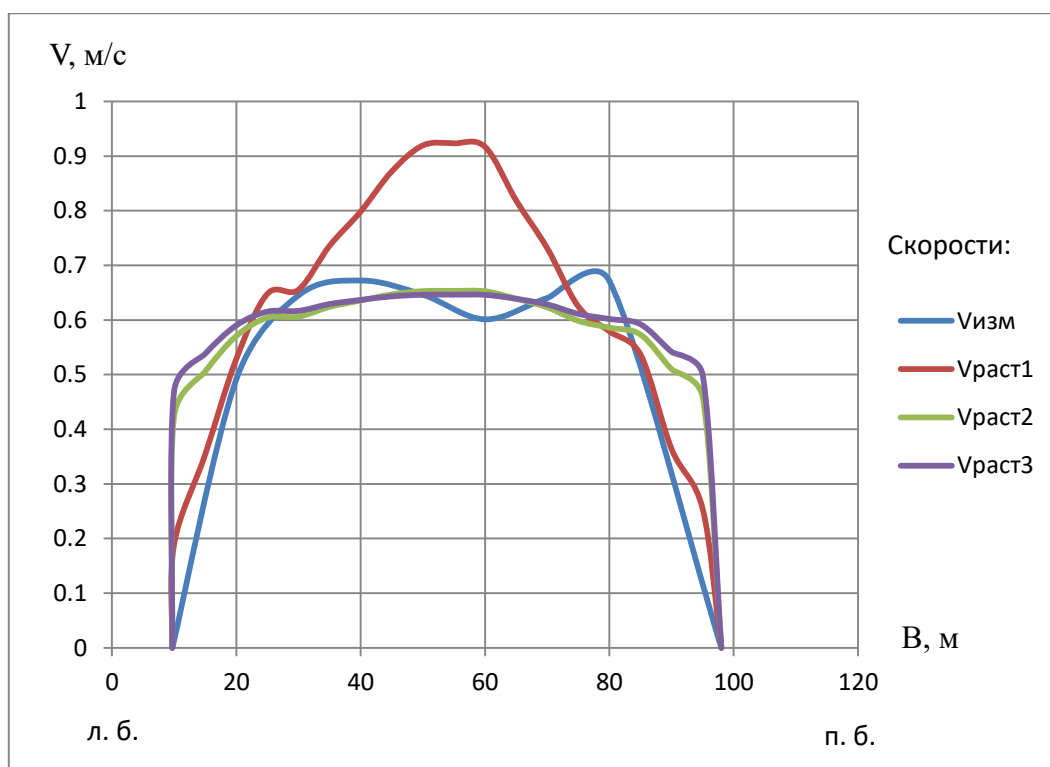


Рис. 3.2.6. График хода фактической и расчётных скоростей по ширине потока.

Как мы видим, на рис. 3.2.7, наибольшие отклонения расчётных скоростей от фактических, получаются при расчёте по формуле (3.2.4), а расчётные формулы (3.2.8) и (3.2.9) дают вполне хороший результат. Однако, на рис. 3.2.7, создаётся впечатление, что формулы (3.2.8) и (3.2.9) дают явное завышение скоростей у берегов, а по формуле (3.2.4) наоборот, выходит хороший результат, но это не совсем так. Так как измерение скоростей у берегов не проводилось, то и сравнивать фактические и расчётные эпюры распределения средних на вертикалях скоростей по ширине потока у берегов не корректно просто потому, что данных по фактическим скоростям нет, а эпюра распределения средних фактических на вертикалях скоростей в этих местах проведена достаточно произвольно.

Поэтому для более точно оценки расчётных формул (3.2.4), (3.2.8) и (3.2.9) было решено проанализировать отклонения расчётных скоростей от фактических. В результате не сложных вычислений мы получили следующие результаты, представленные в таблице №3.2.5.

Таблица №3.2.5. Результаты расчётов отклонений расчётных скоростей от фактических на вертикалях.

Расстояние от п.н., м	$\Delta V_{\text{расч1}}$, м/с	$\Delta V_{\text{расч2}}$, м/с	$\Delta V_{\text{расч3}}$, м/с
9,7	0	0	0
10			
15			
20	-0,037	-0,078	-0,098
25			
30	-0,010	0,039	0,028
35			
40	-0,127	0,037	0,035
45			
50	-0,274	-0,007	0,000
55			
60	-0,316	-0,051	-0,045
65			
70	-0,092	0,017	0,011
75			
80	0,092	0,085	0,069
85			
90			
95			
98	0	0	0
$\Sigma \Delta V_i$	-0,763	0,042	0,001
$\Sigma \Delta V_i $	0,947	0,314	0,287

$\Sigma \Delta V_i$ – была получена путём простого суммирования всех отклонений (ΔV_i). Эта сумма показывает нам общую направленность отклонений в сторону завышения или занижения расчётных результатов. Как мы видим, значение $\Sigma \Delta V_i$, определённое для формулы (3.2.4), оказалось отрицательным. Это означает, что скорости, рассчитанные по данной в формуле в целом больше фактических, т.е. эта формула завышает результаты. А значения $\Sigma \Delta V_i$, определённые для формул (3.2.8) и (3.2.9) в целом не значительны, что означает вполне хороший результат. Однако, для оценки общего отклонения расчётных значений скоростей от фактических, $\Sigma \Delta V_i$ не подходит. Поэтому было принято решение просуммировать отклонения по модулю ΔV_i . Это позволило оценить общее отклонение расчётных скоростей от фактических. Как мы видим, $\Sigma |\Delta V_i|$ определённые для формул (3.2.8) и (3.2.9) оказались примерно одинаковыми, хотя для формулы (3.2.9) $\Sigma |\Delta V_i|$ немного меньше. А вот $\Sigma |\Delta V_i|$, определённая

для формулы (3.2.4), оказалось примерно в 3 раза больше остальных, что позволяет нам сделать вывод о том, что в целом результаты расчётов по данной формуле хуже, относительно остальных расчётных формул.

Также стоит отметить, что результаты, полученные по формуле (3.2.9) немного лучше результатов полученных по формуле (3.2.8) однако при отсутствии измеренных скоростей выполнение расчётов по формуле (3.2.9) невозможно.

Поэтому при выполнении расчётов эпюр распределения средних на вертикалях скоростей по ширине потока рекомендуется пользоваться именно формулой (3.2.8).

В итоге, при выполнении расчётов по разработанной методике необходимо:

1) Получить необходимое количество исходных данных, т.е. иметь хотя бы 10 дней наблюдений, в которые производились измерения скоростей, точное минимальное количество дней не установлено, так как оно может сильно варьироваться в зависимости от целого ряда различных факторов.

2) По имеющемуся массиву данных рассчитать коэффициенты (K) и (a_{cp}), а также построить общий график связи $\Delta V_i/V_{cp}=f(h_i/h_{cp})$ и по уравнению линии тренда получить необходимые поправки (ΔV_i).

В случае если связь $\Delta V_i/V_{cp}=f(h_i/h_{cp})$ плохая или отсутствует, стоит попытаться подобрать другую линию тренда, которая достаточно хорошо будет описывать зависимость $\Delta V_i/V_{cp}=f(h_i/h_{cp})$.

3) Произвести расчёты по формуле (3.2.8) и оценить сходимость расчётной и фактической эпюр распределения средних на вертикалях скоростей по ширине потока. Однако стоит отметить, что при определении коэффициента (a_{cp}) не была точно установлена допустимая амплитуда колебания коэффициента (a). Поэтому особого внимания заслуживает оценка эффективности формулы (3.2.8) в случаях, когда разница между коэффициентами (a_{cp}) и (a) максимальна. Это позволит примерно оценить погрешности, которые могут возникать при расчёте по этой формуле.

В целом, несмотря на хороший результат, стоит отметить, что расчётные значения скоростей, полученные по формуле (3.2.8) скорее всего, будут завышены у берегов, это связано, прежде всего, с введением поправки (ΔV_i), т.к. даже при отношении $h_i/h_{cp}=0$, поправка (ΔV_i) $\neq 0$, что явно не соответствует

действительности. При каком соотношении ΔV_i с V_i поправку (ΔV_i) при расчётах по формулам (3.2.8) и (3.2.9) учитывать не стоит, точно установлено не было. Поэтому в случаях, когда поправка (ΔV_i) достигает 90% от V_i , учитывать её не рекомендуется.

Несмотря на все перечисленные тонкости расчётов и недостатки, данная расчётная методика является достаточно перспективной и требует дальнейшей доработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе была разработана методика для расчёта средних на вертикалях скоростей естественных русел.

Проанализировав результаты расчётов, которые выполнены по р. Вохма – д. Грбовщино, можно сделать вывод о том, что при применении этой методики, получаются очень хорошие результаты.

Однако эта методика нуждается в дальнейшей доработке, так как не были достаточно точно установлены условия, при которых применение данной расчётной методики становится возможным. Это связано, прежде всего, с трудностью определения поправок (ΔV_i).

К сожалению, на реках: Согожа, Которосль и Некежис эта поправка не была определена, в связи с отсутствием хорошей зависимости $\Delta V_i/V_{cp}=f(h_i/h_{cp})$. Возможно, это связано с неточностью исходных данных. Всё это не позволило произвести дальнейшие расчёты по этим рекам с целью получения более объективной информации об эффективности полученной расчётной методики. Хотя стоит отметить, что в этой дипломной работе, не были рассмотрены все варианты определения (ΔV_i). Поэтому однозначно оценить эффективность расчётной методики не представляется возможным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

- 1) (Википедия река Согожа) <https://ru.wikipedia.org/wiki/Согожа>
- 2) (Википедия река Вохма) [https://ru.wikipedia.org/wiki/Вохма_\(река\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Вохма_(река))
- 3) (Википедия река Которосль) <https://ru.wikipedia.org/wiki/Которосль>
- 4) (Википедия река Невежис) <https://ru.wikipedia.org/wiki/Нявежис>
- 5) (Википедия река Озёрка)
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Озёрка_\(приток_Кудьмы\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Озёрка_(приток_Кудьмы))
- 6) Гидрологический ежегодник. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии) 1960г. Том 4, выпуск 1-3 – Ленинград 1963г.
- 7) Гидрологический ежегодник. Бассейн Балтийского моря 1955г. Том 1, выпуск 4-6 – Ленинград 1959г.
- 8) Гидрологический ежегодник. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии) 1970г. Том 4, выпуск 1-3 – Горький 1973г.
- 9) Ресурсы поверхностных вод СССР. Верхне-Волжский район. Том 10 – Москва 1973г.
- 10) Ресурсы поверхностных вод СССР. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР 1973г. Том 4 – Ленинград 1969г.
- 11) *Барышников Н.Б.* Динамика русловых потоков. Учебник. - СПб.: изд. РГГМУ, 2007г – с 49.
- 12) *Н.Б. Барышников, Д.И. Исаев, М.С. Дрегваль, И.С. Гаврилов.* Гидрология. Взаимодействие русловых и пойменных потоков. Учёные записки РГГМУ №44 – с 14.

ПРИЛОЖЕНИЯ.

Таблица №1. Исходные данные по р. Вохма – д. Гробовщино.

Дата	12.05.52	12.05.52	13.05.52	14.05.52	18.05.52	31.05.52	06.06.52	07.06.52	09.06.52	01.05.53	04.05.53	05.05.53	06.05.53	19.05.53
H, см	383	358	326	298	432	402	274	243	208	488	320	246	227	146
Q, м ³ /с	219	193	168	145	294	238	122	98,2	86,0	396	156	106	87,6	46,2
F, м ²	323	301	274	248	369	341	227	201	175	421	260	189	173	122
V _{ср} , м/с	0,68	0,64	0,62	0,58	0,80	0,70	0,54	0,49	0,49	0,80	0,60	0,56	0,51	0,38
V _{max} , м/с	0,81	0,77	0,72	0,67	0,98	0,83	0,67	0,56	0,56	1,02	0,77	0,64	0,59	0,42
B, м	91,3	89,5	86,8	85,5	95,5	92,5	82,5	79,8	76,6	104	82,3	83,3	81,8	73,3
h _{ср} , м	3,54	3,36	3,16	2,90	3,86	3,69	2,75	2,52	2,28	4,05	2,54	2,27	2,11	1,66
h _{max} , м	5,41	5,16	4,84	4,56	5,90	5,60	4,32	4,01	3,66	6,51	4,82	4,30	4,11	3,20
K	0,293	0,285	0,288	0,285	0,325	0,293	0,275	0,265	0,283	0,315	0,322	0,324	0,310	0,271

Таблица №2. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Гробовщино за 12.05.52г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
8	0	0	0	0	0
10	0,85	0,487	0,263	0,270	0,252
15	1,70		0,417	0,429	0,399
20	2,75	0,535	0,575	0,591	0,550
25	3,45		0,668	0,688	0,640
30	3,65	0,728	0,694	0,714	0,665
35	4,05		0,744	0,765	0,712
40	4,45	0,768	0,792	0,815	0,758
45	5,05		0,862	0,887	0,825
50	5,41	0,757	0,902	0,928	0,864
55	5,41		0,902	0,928	0,864
60	5,41	0,706	0,902	0,928	0,864
65	5,05		0,862	0,887	0,825
70	4,45	0,677	0,792	0,815	0,758
75	3,85		0,719	0,740	0,689
80	3,40	0,660	0,662	0,681	0,634
85	2,85		0,588	0,606	0,564
90	2,28	0,513	0,507	0,522	0,486
95	0,95		0,283	0,291	0,271
99,3	0	0	0	0	0

Таблица №3. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Грбовщино за 12.05.52г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
8,5	0	0	0	0	0
10	0,60	0,427	0,203	0,214	0,199
15	1,45		0,365	0,386	0,359
20	2,50	0,505	0,526	0,555	0,516
25	3,25		0,626	0,661	0,614
30	3,40	0,675	0,645	0,681	0,633
35	3,80		0,695	0,734	0,682
40	4,20	0,749	0,743	0,784	0,729
45	4,80		0,812	0,857	0,796
50	5,16	0,707	0,852	0,900	0,836
55	5,16		0,852	0,900	0,836
60	5,16	0,648	0,852	0,900	0,836
65	4,80		0,812	0,857	0,796
70	4,20	0,615	0,743	0,784	0,729
75	3,60		0,670	0,708	0,657
80	3,17	0,635	0,616	0,650	0,604
85	2,60		0,539	0,570	0,529
90	2,03	0,568	0,457	0,483	0,449
95	0,70		0,225	0,237	0,221
98	0	0	0	0	0

Таблица №4. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Грбовщино за 13.05.52г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
9,5	0	0	0	0	0
10	0,28		0,123	0,129	0,118
15	1,13		0,312	0,327	0,299
20	2,18	0,484	0,484	0,506	0,464
25	2,88		0,583	0,610	0,559
30	3,08	0,657	0,609	0,638	0,584
35	3,48		0,661	0,692	0,634
40	3,90	0,696	0,713	0,746	0,684
45	4,48		0,782	0,819	0,750
50	4,84	0,669	0,824	0,862	0,790
55	4,84		0,824	0,862	0,790
60	4,84	0,612	0,824	0,862	0,790
65	4,48		0,782	0,819	0,750
70	3,80	0,596	0,701	0,734	0,672
75	3,28		0,636	0,665	0,609
80	2,80	0,662	0,572	0,598	0,548
85	2,28		0,499	0,522	0,478
90	1,70	0,550	0,410	0,429	0,393
95	0,38		0,151	0,158	0,145
96,3	0	0	0	0	0

Таблица №5. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Грбовщино за 14.05.52г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
10	0	0	0	0	0
15	0,85		0,256	0,270	0,248
20	1,90	0,473	0,438	0,462	0,424
25	2,60		0,539	0,570	0,523
30	2,80	0,617	0,567	0,598	0,549
35	3,20		0,619	0,654	0,601
40	3,60	0,63	0,670	0,708	0,650
45	4,20		0,742	0,784	0,720
50	4,56	0,643	0,784	0,828	0,761
55	4,56		0,784	0,828	0,761
60	4,56	0,596	0,784	0,828	0,761
65	4,20		0,742	0,784	0,720
70	3,60	0,577	0,670	0,708	0,650
75	3,00		0,593	0,627	0,575
80	2,50	0,603	0,525	0,555	0,509
85	2,00		0,453	0,478	0,439
90	1,40	0,511	0,357	0,377	0,346
95,5	0	0	0	0	0

Таблица №6. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Грбовщино за 18.05.52г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
6,5	0	0	0	0	0
10	1,30	0,445	0,387	0,359	0,362
15	2,19		0,548	0,508	0,513
20	3,20	0,638	0,706	0,654	0,660
25	3,94		0,811	0,751	0,758
30	4,10	0,840	0,833	0,772	0,779
35	4,54		0,891	0,826	0,834
40	4,90	0,927	0,938	0,869	0,877
45	5,54		1,02	0,943	0,952
50	5,90	0,892	1,06	0,984	0,993
55	5,90		1,06	0,984	0,993
60	5,90	0,817	1,06	0,984	0,993
65	5,54		1,02	0,943	0,952
70	4,90	0,823	0,938	0,869	0,877
75	4,34		0,865	0,802	0,809
80	3,90	0,849	0,806	0,746	0,753
85	3,34		0,726	0,673	0,679
90	2,75	0,660	0,638	0,591	0,597
95	1,44		0,415	0,384	0,388
102	0	0	0	0	0

Таблица №7. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Гробовщино за 31.05.52г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
7,5	0	0	0	0	0
10	1,04	0,563	0,301	0,309	0,292
15	1,89		0,448	0,461	0,435
20	2,94	0,559	0,602	0,618	0,584
25	3,69		0,700	0,719	0,679
30	3,84	0,742	0,719	0,739	0,697
35	4,24		0,768	0,789	0,745
40	4,64	0,810	0,816	0,838	0,791
45	5,24		0,884	0,909	0,858
50	5,60	0,797	0,924	0,950	0,897
55	5,60		0,924	0,950	0,897
60	5,60	0,674	0,924	0,950	0,897
65	5,24		0,884	0,909	0,858
70	4,64	0,692	0,816	0,838	0,791
75	4,04		0,744	0,764	0,721
80	3,61		0,690	0,709	0,669
85	3,04		0,615	0,632	0,597
90	2,47	0,632	0,536	0,550	0,520
95	1,14		0,320	0,329	0,310
100	0	0	0	0	0

Таблица №8. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Грбовщино за 06.06.52г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
11,5	0	0	0	0	0
15	0,61		0,198	0,217	0,193
20	1,60	0,410	0,376	0,412	0,367
25	2,36		0,488	0,534	0,476
30	2,55	0,559	0,513	0,562	0,501
35	2,96		0,567	0,621	0,553
40	3,35	0,619	0,616	0,674	0,601
45	3,96		0,689	0,754	0,672
50	4,30	0,553	0,727	0,797	0,710
55	4,32		0,730	0,799	0,712
60	4,31	0,520	0,729	0,798	0,711
65	3,96		0,689	0,754	0,672
70	3,30	0,519	0,610	0,668	0,595
75	2,76		0,541	0,593	0,528
80	2,30	0,581	0,479	0,525	0,468
85	1,76		0,401	0,439	0,391
90	1,20	0,493	0,311	0,340	0,303
94	0	0	0	0	0

Таблица №9. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Грбовщино за 07.06.52г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
13,2	0	0	0	0	0
15	0,30		0,119	0,135	0,118
20	1,35	0,394	0,323	0,368	0,322
25	2,05		0,427	0,486	0,425
30	2,20	0,501	0,448	0,510	0,445
35	2,65		0,507	0,577	0,504
40	3,00	0,534	0,550	0,627	0,548
45	3,65		0,627	0,714	0,624
50	4,00	0,521	0,667	0,759	0,663
55	4,01		0,668	0,760	0,664
60	4,00	0,462	0,667	0,759	0,663
65	3,65		0,627	0,714	0,624
70	3,00	0,479	0,550	0,627	0,548
75	2,45		0,481	0,547	0,478
80	2,00	0,531	0,420	0,478	0,418
85	1,45		0,339	0,386	0,337
90	0,85	0,421	0,237	0,270	0,236
93	0	0	0	0	0

Таблица №10. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Грбовщино за 09.06.52г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
15,2	0	0	0	0	0
20	1,00	0,369	0,283	0,301	0,288
25	1,70		0,403	0,429	0,411
30	1,90	0,529	0,434	0,462	0,442
35	2,30		0,493	0,525	0,502
40	2,70	0,542	0,548	0,584	0,559
45	3,30		0,627	0,668	0,639
50	3,60	0,523	0,664	0,708	0,677
55	3,66		0,672	0,715	0,685
60	3,66	0,453	0,672	0,715	0,685
65	3,30		0,627	0,668	0,639
70	2,70	0,481	0,548	0,584	0,559
75	2,10		0,464	0,494	0,473
80	1,65	0,514	0,395	0,421	0,403
85	1,10		0,301	0,321	0,307
90	0,53	0,392	0,185	0,197	0,189
91,8	0	0	0	0	0

Таблица №11. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Гробовщино за 01.05.53г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
5	0	0	0	0	0
10	2,13		0,521	0,499	0,476
15	2,83		0,630	0,603	0,575
20	3,90	0,727	0,780	0,746	0,712
25	4,53		0,862	0,825	0,787
30	4,70	0,872	0,883	0,845	0,806
35	5,13		0,937	0,896	0,855
40	5,50	0,932	0,981	0,939	0,895
45	6,13		1,05	1,01	0,962
50	6,80	0,925	1,13	1,08	1,03
55	6,53		1,10	1,05	1,00
60	6,50	0,804	1,10	1,05	1,00
65	5,73		1,01	0,965	0,920
70	5,11	0,883	0,934	0,894	0,852
75	4,33		0,836	0,800	0,763
80	4,11	0,892	0,808	0,773	0,737
85	3,83		0,771	0,737	0,703
90	2,83		0,630	0,603	0,575
95	2,33		0,553	0,529	0,505
100	1,33		0,381	0,364	0,347
105	0,13		0,081	0,077	0,074
108	0	0	0	0	0

Таблица №12. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Гробовщино за 04.05.53г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
9,7	0	0	0	0	0
10	0,45		0,189	0,177	0,161
15	1,15		0,354	0,331	0,301
20	2,10	0,492	0,529	0,494	0,450
25	2,85		0,648	0,606	0,551
30	2,90	0,645	0,655	0,613	0,558
35	3,45		0,736	0,688	0,626
40	3,90	0,672	0,799	0,746	0,680
45	4,45		0,872	0,815	0,742
50	4,82	0,646	0,920	0,860	0,783
55	4,85		0,923	0,863	0,786
60	4,80	0,601	0,917	0,857	0,781
65	4,05		0,819	0,765	0,697
70	3,42	0,64	0,732	0,684	0,623
75	2,70		0,625	0,584	0,532
80	2,41	0,671	0,579	0,542	0,493
85	2,15		0,537	0,502	0,457
90	1,20		0,364	0,340	0,310
95	0,70		0,254	0,237	0,216
98	0	0	0	0	0

Таблица №13. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Грбовщино за 05.05.53г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
11	0	0	0	0	0
15	0,50		0,204	0,190	0,191
20	1,40	0,415	0,406	0,377	0,379
25	2,10		0,532	0,494	0,497
30	2,20	0,596	0,548	0,510	0,513
35	2,75		0,636	0,591	0,595
40	3,20	0,627	0,704	0,654	0,658
45	3,75		0,783	0,727	0,731
50	4,00	0,596	0,817	0,759	0,764
55	4,30		0,857	0,797	0,801
60	4,00	0,556	0,817	0,759	0,764
65	3,25		0,711	0,661	0,665
70	2,45	0,554	0,589	0,547	0,551
75	1,75		0,471	0,437	0,440
80	1,00	0,587	0,324	0,301	0,303
85	0,70		0,256	0,237	0,239
90	0,45		0,190	0,177	0,178
94,3	0	0	0	0	0

Таблица №14. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Гробовщино за 06.05.53г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
12	0	0	0	0	0
15	0,31		0,142	0,138	0,134
20	1,19	0,430	0,348	0,338	0,327
25	1,91		0,477	0,464	0,449
30	1,99	0,541	0,490	0,477	0,461
35	2,56		0,580	0,564	0,546
40	2,99	0,552	0,643	0,625	0,605
45	3,56		0,723	0,702	0,680
50	3,80	0,533	0,755	0,734	0,710
55	4,11		0,795	0,773	0,748
60	3,80	0,505	0,755	0,734	0,710
65	3,06		0,653	0,635	0,615
70	2,30	0,544	0,540	0,525	0,508
75	1,56		0,417	0,405	0,392
80	0,80	0,468	0,267	0,260	0,251
85	0,51		0,198	0,192	0,186
93,8	0	0	0	0	0

Таблица №15. Результаты расчётов средних на вертикалях скоростей по ширине потока на р. Вохма – д. Гробовщино за 19.05.53г.

Расстояние от п.н., м	h, м	V _{изм} , м/с	V _{раст1} , м/с	V _{раст} (при исп. K _{ср}), м/с	V _{раст} (при исп. а*К), м/с
17	0	0	0	0	0
20	0,60	0,320	0,193	0,214	0,177
25	1,10		0,289	0,321	0,265
30	1,26	0,396	0,316	0,351	0,290
35	1,75		0,394	0,437	0,361
40	2,10	0,407	0,444	0,494	0,408
45	2,75		0,532	0,591	0,488
50	3,05	0,401	0,570	0,634	0,523
55	3,30		0,601	0,668	0,551
60	3,15	0,387	0,582	0,647	0,534
65	2,25		0,465	0,517	0,427
70	1,80	0,388	0,401	0,446	0,368
75	0,75		0,224	0,249	0,205
80	0,50		0,171	0,190	0,157
90,3	0	0	0	0	0