МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему **Скоростное поле естественных русел**

Исполнитель Тестова Ирина Сергеевна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.г.н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Голосовская Вера Алексеевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

к.г.н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

«01» июня 2026 г.

Санкт–Петербург

2026

Оглавление

Введение 1

1 Физико-географическая характеристика реки Сейма 3

1.1 Описание реки и ее характеристики 3

1.2 Местоположение и описание района 4

1.3 Хозяйственное использование 5

1.4 Климатические характеристики района 6

1.5 Растительность 7

1.6 Геоморфология и почвы 8

2 Методика расчета 10

2.1 Описание створа 10

2.2 Исходные данные 12

Река вышла на пойму 29 апреля, когда средняя глубина составляла 77,8 мБс. Значит при данной глубине начинает затапливать пойму, по рисунку 7 видно, что это происходит, когда расход равняется 40 и более $м^3/с$ 13

2.3 Методика расчета коэффициента Караушева 15

3 Расчетная часть 17

3.1 Расчет коэффициента Караушева 17

3.2 Поиск зависимости различных величин от коэффициента Караушева 20

3.2.1 Поиск зависимости при наличии уклона 22

3.2.2 Поиск зависимости по всем имеющимся данным 26

3.3 Итог расчетов 30

4 Вывод 31

Список литературы 32

Приложение 33

Введение

Изучение гидродинамических характеристик рек является основой для гидрометрии и смежных наук. Естественное скоростное поле потока – это пространственное распределение скоростей течения в речном русле, которое формируется под действием природных факторов. Такое скоростное поле описывает изменение скоростей потока по длине и ширине потока, а также по глубине русла.

На естественное скоростное поле потока влияет множество факторов: морфометрия, уклон, шероховатость, вид грунта, количество наносов, уровень воды, режим питания, растительность и т.д.

На практике знание скоростного поля потока реки позволяет анализировать различные русловые процессы, рассчитывать расход воды и твердого стока, прогнозировать русловые деформации и возможные подтопления, а также проектировать водозаборы, переходы трубопроводов и мосты.

Актуальность работы заключается в том, что в настоящее время все реже проводятся измерения скоростей потока и расходов воды. Еще реже измеряется уклон реки, который очень важен для решения разного типа задач. Обычно, в таких случаях используют средний уклон водосбора, который не учитывает ни сезонных, ни иных изменений.

Цель работы состоит в исследовании возможности применения на практике эмпирического коэффициента Караушева для расчета скоростей потока. В перспективе, использование такого метода позволит получать приближенные значения уклонов, скоростей и расходов воды при отсутствии измерений за нужный период.

В работе рассматривается характер распределения скоростей в сечении за различные сезоны, и выявляется зависимость между различными гидрологическими характеристиками. Предметом исследования являются

данные измерений глубин и скоростей за 1979 г. на реке Сейма, которая протекает в Нижегородской области.

Река Сейма – типичная малая река центральной части Восточно-Европейской равнины. Она находится в зоне интенсивного антропогенного воздействия: город Володарск, от которого река испытывает нагрузку от стока с многочисленных сельскохозяйственных полей и маленьких промышленных предприятий. Остальная часть бассейна расположена в лесу с большим количеством болот, что способствует естественному зарегулированию стока и играет большую роль в режиме реки. Также, наличие болот свидетельствует о грунтовом питании.

Гидрологический режим региона определяется влиянием двух крупнейших рек – Оки и Волги, а также влиянием Чебоксарского и Горьковского водохранилищ. Это главные судоходные каналы центральной России.

1 Физико-географическая характеристика реки Сейма

1.1 Описание реки и ее характеристики

Сейма – небольшая извилистая река, располагающаяся на территории России в Нижегородской области. Протекает по Балахнинскому и Володарскому районам. Является левым притоком реки Оки. Площадь бассейна составляет 548 км^2, длина 42 км.

Сейма имеет 4 основных притоков: река Кругловище и река Юра на левом берегу, река Ремна и река Саях на правом берегу. Исток реки находится на высоте 100 м в лесах Балахнинской низменности, а устье на высоте 66,2 м. Средний уклон Сеймы 0,812 м/км. Для равнинной реки такой уклон считается весьма значительным, по сравнению с уклонами многих малых рек. Это объясняется рельефом местности.

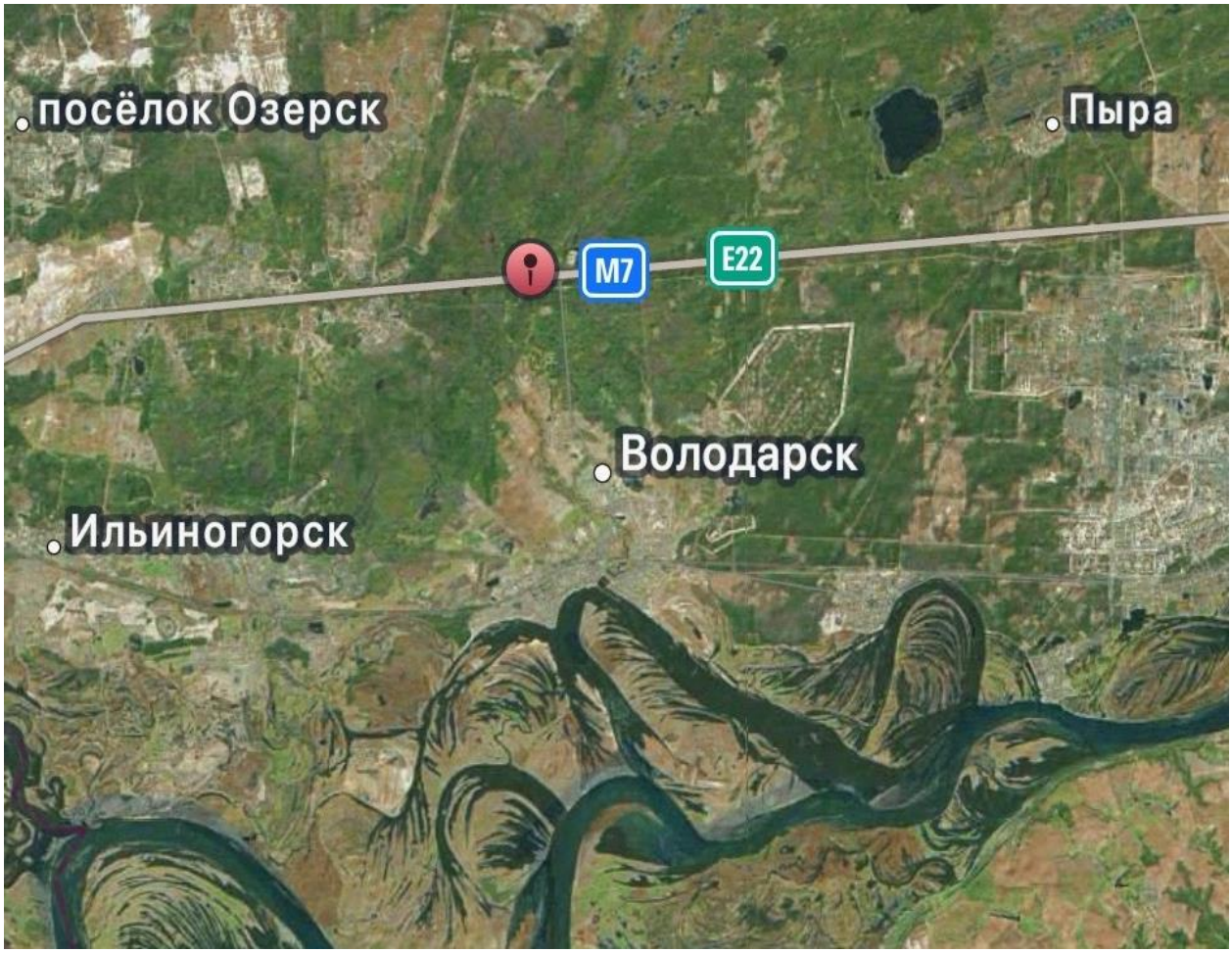


Рисунок 1. Бассейн реки Сейма на карте

Питание реки смешенное: весной снеговое, которое дополняется дождевым; летом, осенью и зимой преимущественно грунтовое. Период с ледовыми явлениями длится с ноября по апрель. Среднемноголетний расход воды реки Сейма – 2,74 $м^3$/с. Среднемноголетний объём стока воды реки Сейма в устье составляет 0,086 $км^3$/год.

Течение спокойное – 0,4-0,8 м/с, на перекатах – 0,7-0,9 м/с, отсутствуют пороги. Русло устойчивое, извилистое, река сильно меандрирует, образуя многочисленные излучины, петли и крутые повороты. Идет активное подмывание берегов на меандрах.

1.2 Местоположение и описание района

Сейма расположена на плоской, слабохолмистой песчаной аллювиальной равнине. Река протекает по местности, сложенной в основном рыхлыми осадочными породами (пески, суглинки). Выходов твердых кристаллических пород, необходимых для формирования порогов, в ее русле нет. Весеннее половодье Оки часто заливает всю пойму, создавая обширные водные пространства.

Территория водосбора представляет собой лесистую равнину (леса покрывают более 56% территории), ничем незащищенную от западных и северо-западных ветров, с которыми связано поступление влажных воздушных масс. Для нее характерны избыточное увлажнение и относительно однообразные природные условия и, следовательно, ландшафт.

Средняя температура января – около -12˚с, температура июля – около +19˚с, годовое количество осадков немногим превышает 550 мм.

Река Сейма протекает через город Володарск, который является административным центром Володарского муниципального округа. Река и местность вокруг нее имеют богатую историю. Исследования выявили здесь важные археологические памятники: Володарская стоянка (эпоха неолита) и знаменитый Сейминский могильник (бронзовый век), который дал название

целой археологической культуре. До 1920 года населенный пункт, выросший в современный Володарск, также носил название Сейма.

На Балахнинской низменности преобладают песчаные и супесчаные почвы, формирующиеся на мощной толще песчаных отложений, характерных для этой плоской заболоченной равнины. Аллювиальные дерново-луговые почвы занимают поймы рек и отличаются большим плодородием. Торфяно-болотные и глеевые почвы широко распространены на заболоченных низинах, которые составляют около 20% площади. Заболоченность водосбора 6%. Подзолистые же почвы занимают основную часть территории. Они формируются под сосновыми лесами, закрепляют поверхность древних песчаных террас вдали от активного влияния рек.

На территории, по которой протекает река, характерно преобладание в воде гидрокарбонатов. Их концентрация является стабильно высокой. Это позволяет отнести эти воды к гидрокарбонатному классу. Исходя из общей жесткости воды Новгородской области, наиболее вероятно, что воды Сеймы относятся к кальциевой или смешанной кальциево-магниевой группе.

1.3 Хозяйственное использование

Водные ресурсы реки используются для местного водоснабжения, рекреации и рыболовства. В прошлом река могла использоваться для лесосплава. На реке очень распространен неотраслевой вылов различных видов рыбы. Экологические и климатические условия способствуют развитию широкого спектра видов, таких как – Белый амур, Быстрянка, Вьюн, Бычок-подкаменщик, Гольян, Елец, Карась и др.

В реке сложились самые важные положительные факторы для развития рыбы, к таким факторам можно отнести: подъем воды и продолжительное стояние высокого уровня воды на пойме, что в свою очередь продлевает период нереста, а значит увеличивает количество особей способных к отложению икры; параметры речного потока, ведь рыбы избирают в качестве

наиболее оптимальных мест для обитания с менее выраженным воздействием течения, например, участки за препятствиями (островки, остатки древесной растительности) или плесы и ямы, так же положительно может сказываться сильная извилистость русла замедляющая скорость течения потока на отдельных участках и увеличивающая объем донных отложений в зонах повышенного меандрирования; высокая концентрация кислорода в воде, которая положительно сказывается на количестве особей и самое главное, при рассмотрении реки по целесообразности развития рыболовецкого промысла, размерах особей, ведь повышенное содержание кислорода способствует развитию организма и его формированию.

На реке находится всего один крупный населенный пункт – город Володарск, с небольшой численностью населения, равной 5160 чел., и не имеющий на своей территории крупных действующих гидротехнических сооружений, способных оказывать негативное воздействие на биохимию и загрязненность речного русла. В районе бассейна реки присутствуют несколько туристических баз, расположенных в лесном массиве и на побережье устья.

Ранее в устье реки действовал судоходный канал, который был предназначен для подвоза сырья (зерна) и вывоза продукции мукомольного комбината водным транспортом. Начало канала – 58 км реки Оки. В канал ведет дополнительный судовой ход, ответвляющийся от основного судового хода на 56,9 км реки Оки. Движение судов по каналу разрешается только в светлое время суток. В настоящее время для судоходства не используется, причалы в Володарске ликвидированы.

1.4 Климатические характеристики района

На территории Нижегородской области, по которой протекает река Сейма, климат умеренно-континентальный: ярко выраженная сезонность, холодная зима и очень теплое лето.

Область находится глубоко внутри Евразии, вдали от океанов. Атлантика и её тёплое течение Гольфстрим ещё оказывают влияние (зимой принося оттепели), а Тихий и Индийский океаны климат не формируют. Поэтому здесь наблюдается континентальный воздух умеренных широт.

Нижегородская область не однородна. Выделяются две части:

1. Правобережье сложено Приволжской возвышенностью и характеризуется небольшими возвышенностями. Здесь выпадает на 50-100 мм осадков больше, снежный покров мощнее, а заморозки заканчиваются позже весной.
2. Левобережье (Волжско-Ветлужская низменность) – заболоченная равнина с сосновыми борами. Зимой здесь чаще стоят туманы из-за подстилающих торфяников и влажного воздуха, а летом – выше риск ночных заморозков.

Средняя температура января -12˚с. В очень холодные зимы температура падает ниже -20˚с. Средняя температура июля +19˚с, но максимумы могут достигать +35˚с. Годовая амплитуда температур составляет 30-32˚с. Снежный покров устойчивый с ноября по апрель. Его высота достигает 50-60 см.

Годовое количество осадков немногим превышает 550 мм, что превышает испоряемость, а значит этот регион является зоной устойчивого увлажнения.

1.5 Растительность

Нижегородская область расположена на стыке природных зон, поэтому растительный покров на севере и на юге области различны, повторяя изменения климата от более влажного и прохладного к более теплому и сухому.

На севере области преобладают темнохвойные леса: ели, сосны, пихты. В качестве кустарников можно встретить чернику, бруснику. Для центральной и северо-восточной части характерны смешанные леса, в которых сочетаются

темнохвойные леса с широколиственными породами деревьев: береза, липа, клен, дуб, вяз. В этих лесах хорошо видно ярусность: деревья, многочисленные кустарники и травянистые растения.

На правом берегу Оки и Волги можно встретить в основном только широколиственные леса. Это коренные, исторически сложившиеся леса возвышенной части области. На юго-Востоке области начинается лесостепь – лес встречается не так часто, в основном пространство занимают луговые степи. Для них характерно разнотравье: ковыль, типчак, васильки, незабудки, полынь.

Под разными типами леса формируются разные почвы: в тайге – подзолистые, под смешанными лесами – дерново-подзолистые, а под широколиственными – более плодородные серые лесные почвы.

1.6 Геоморфология и почвы

Нижегородская область расположена в северо-западной части Русской плиты в центре Восточно-Европейской равнины, и ее современный облик в значительной степени сформирован как древними геологическими структурами, так и относительно молодыми ледниковыми процессами. Рельеф области – равнинный, но не плоский. Он представляет собой чередование возвышенностей и низменностей, сформированных деятельностью покровных ледников и талых ледниковых вод.

В основе геологии региона лежит древняя и устойчивая тектоническая структура, перекрытая мощной толщей осадочных пород. Осадочный чехол сложен толщами разного возраста. Самый верхний слой представлен рыхлыми четвертичными отложениями мощностью до 100 метров, оставшиеся от ледниковых эпох. Ниже в основном расположены глины, пески и песчаники. Нижний слой состоит из терригенных и карбонатных пород (известняки, доломиты), а также обломочных отложений.

Главные факторы формирования рельефа – это деятельность покровных оледенений (московского и валдайского) и работа талых ледниковых вод. Такая деятельность создала основной каркас рельефа – моренные возвышенности и гряды и сформировала обширные зандровые (водно-ледниковые) равнины и низины, сложенные песками.

Деятельность рек и озёр в послеледниковое время выработала современные долины и террасы, например река Волга, и котловины крупных озёр.



Рисунок 2. Река Сейма

2 Методика расчета

2.1 Описание створа

Створ, на котором проводились измерения, находился в 50 метрах от моста шоссе Москва-Горький (сейчас город называется Нижний Новгород) и назывался г. Володарск. Пост реечно-свайный, находится на левом берегу. Отметка нуля поста 76,01 мБС.

Данный гидрологический пост находился в 14 км от устья, для него указывается площадь водосбора 364 км². Это означает, что пост контролирует не весь бассейн, а его часть – территорию выше по течению от города. В настоящее время пост закрыт и наблюдения давно не ведутся.

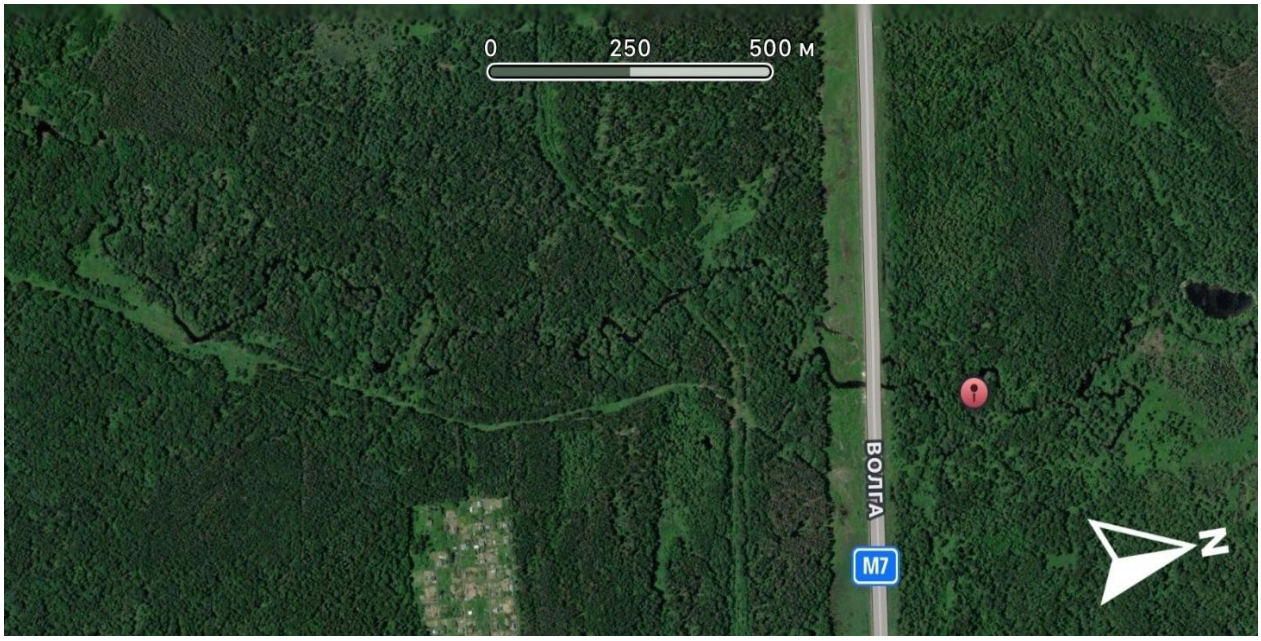


Рисунок 3. Карта реки Сейма и створ у моста

Долина реки трапецеидальная шириной 13-17 м. На обоих берегах можно увидеть смешенные леса. Пойма на рисунке 3 не виднеется. Ниже по течению в 50-ти м находится мост.

Дно песчаное, деформирующееся, летом берега покрываются растительностью. Берега обрывистые 1.0-1.5 м. Ледостав неустойчивый, в весеннее время начинаются заторы в устье из-за подпоров реки Оки. На термический режим оказывают влияние выходы грунтовых вод.

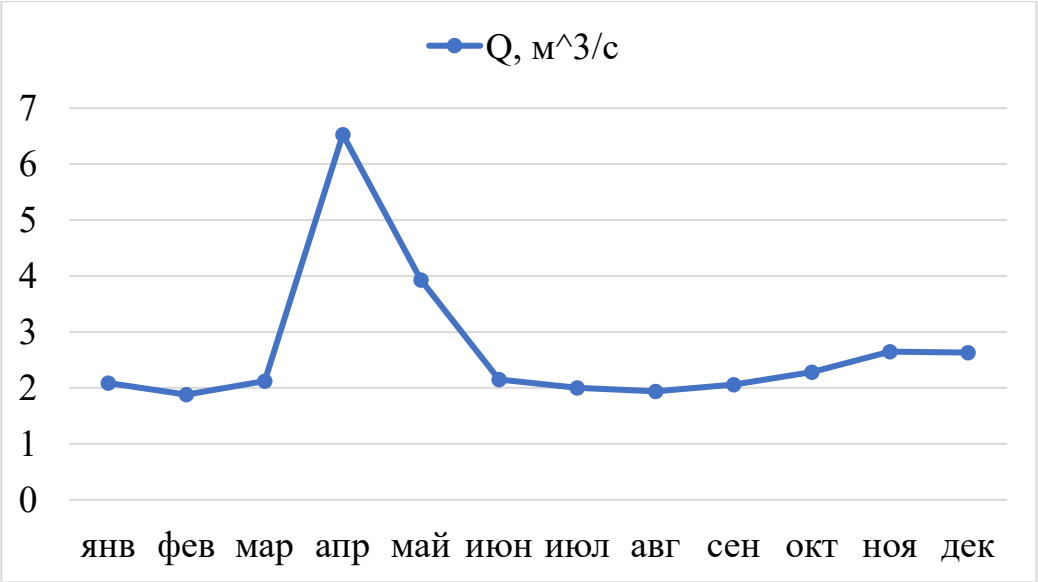


Рисунок 4. Гидрограф среднемесячных расходов воды на реке Сейма - г. Володарск за период с 1976 по 1980 г.

На рисунке 4 видно, что весеннее половодье начинается в апреле, и идет на спад к концу мая. В июне половодье уже не наблюдается. Это классический гидрограф для рек данного района.

Также, на рисунке 4 можно обратить внимание на сильное увеличение расходов воды в конце осени и начале зимы. Это объясняется большим количеством осадков в этот период, которые не могут дренировать из-за высокого уровня грунтовых вод в регионе.

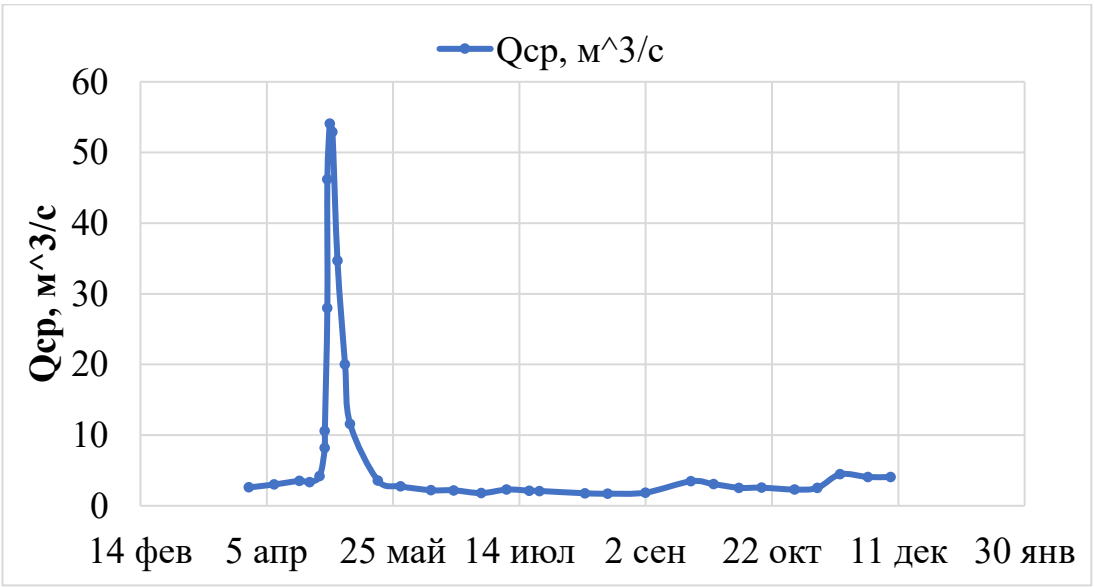


Рисунок 5. Гидрограф по рассчитанным расходам воды на реке Сейма - г. Володарск за 1979 г.

По рисунку 5 видно, что 1979 г. был многоводным. Половодье началось 26 апреля и продлилось вплоть до 19 мая. Пик половодья пришелся на 30 апреля. Расход воды в этот день достигал 54,1 $м^3/с$. Уровень и расход поднимались стремительно. Пик наступил на 4 день после начала половодья.

Незначительные паводки наблюдались в конце сентября и в конце ноября. Последний продлился вплоть до конца измерений (8 декабря).

2.2 Исходные данные

В качестве исходных данных для расчетов использовались книжки для записи измерений расходов воды КГ-3М по реке Сейма – пост г. Володарск за 1979 год. Всего было 35 книжек за разные даты, начиная 29 марта, заканчивая 8 декабря.

Для работы были оцифрованы и переведены в формат таблиц EXEL измерения скоростей потока, средних скоростей в сечении, средних глубин на урезе и глубины на промерных вертикалях, расстояние от постоянного начала и уклон. В последствии, именно по этим данным велась работа и вычислялись искомые параметры и характеристики.



Рисунок 6. Профиль поперечного сечения за 30-е апреля на р. Сейма – г. Володарск

Максимальная глубина за 30 апреля составила 3,08 м в самой глубокой точке. Обычно, не в сезон половодья, уровень воды не поднимается выше 1–1,2 м.

По профилю поперечного сечения за этот день (рисунок 6) хорошо видна бровка на левом и на правом берегах, на отметке 79,5 мБС. Видно, что уровень поднялся критически и река протекала у коренного берега. На расстоянии 5 м от постоянного начала (на левом берегу) находится затопленная пойма длинной 3 м. На расстоянии 25 м от постоянного начала (на правом берегу) находится затопленная пойма длинной 4–4,5 м.

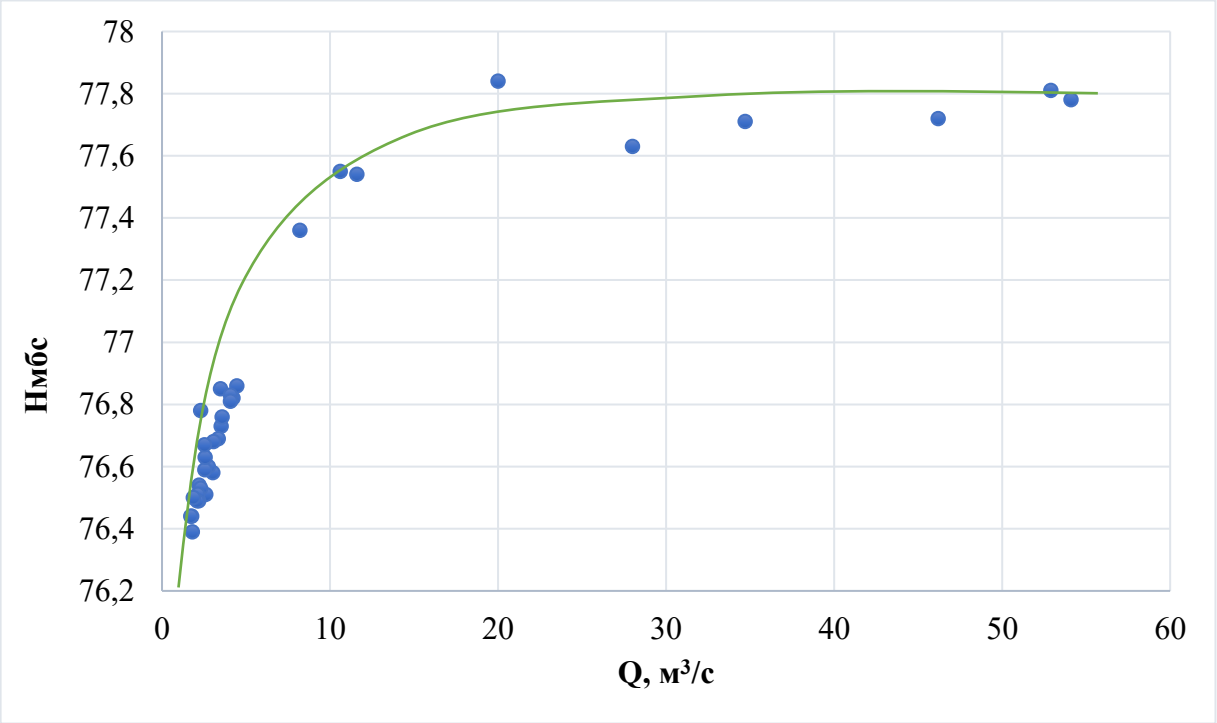


Рисунок 7. График зависимости Q=f(H)

Река вышла на пойму 29 апреля, когда средняя глубина составляла 77,8 мБс. Значит при данной глубине начинает затапливать пойму, по рисунку 7 видно, что это происходит, когда расход равняется 40 и более $м^3/с$.

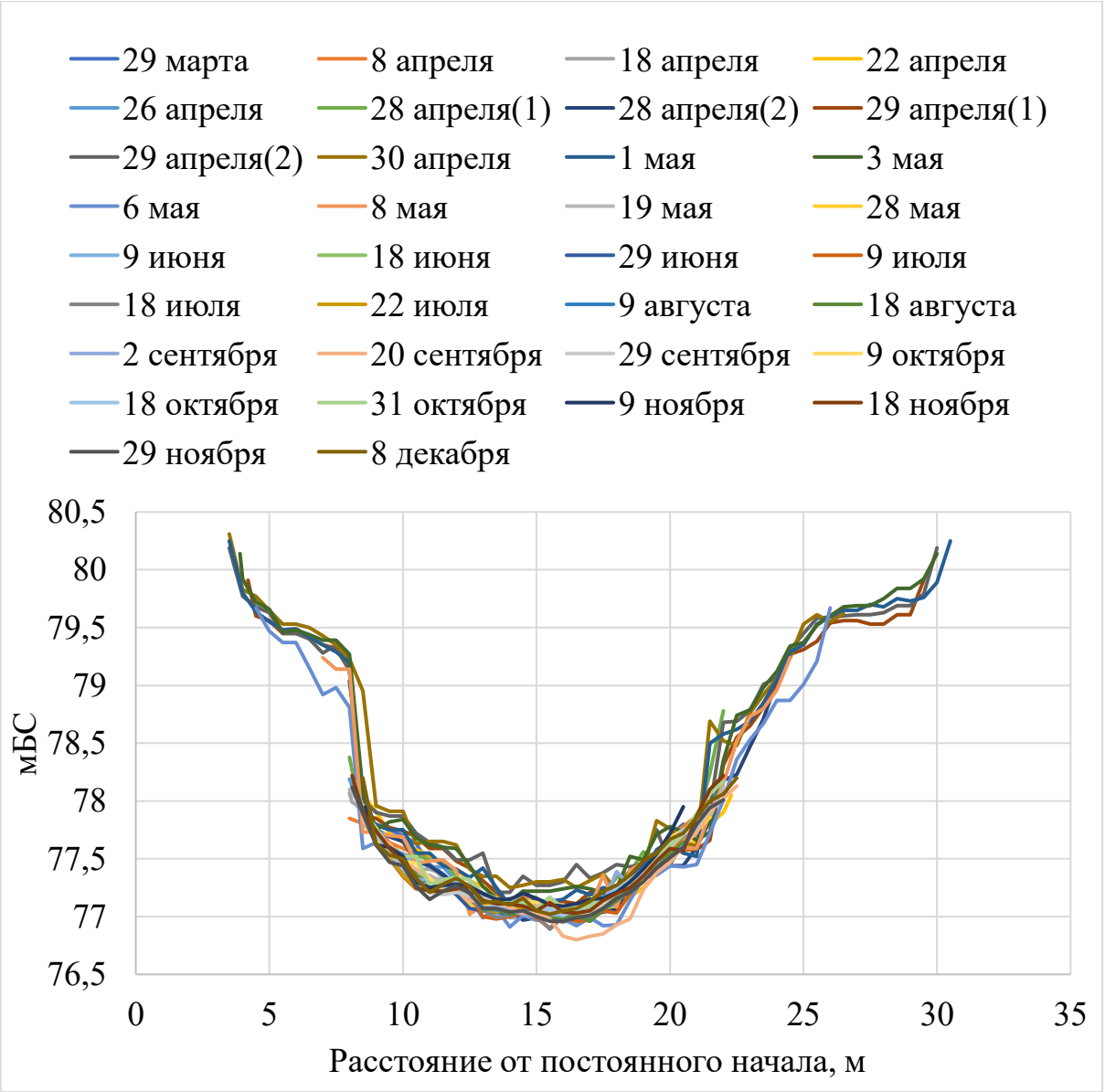


Рисунок 8. Профиль поперечных сечений за все дни, в которых проводились измерения на реке Сейма – г. Володарск

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.

На рисунке 8 видно, что дно сильно неустойчиво, что означает большое количество наносов, а значит площадь поперечного водного сечения даже при одном уровне воды всегда различен, что стоит учитывать при расчетах. Можно предположить, что коэффициент шероховатости в таком случае будет велик.

2.3 Методика расчета коэффициента Караушева

Данная работа заключается в поиске зависимости между фактическими данными и эмпирическими значениями, такими как коэффициент Караушева. Такая работа позволит не только лучше понимать различные характеристики, но и восстанавливать недостающие данные быстро и с минимальной погрешностью.

Формула Шези – это зависимость, которая связывает среднюю скорость потока с геометрией сечения и уклоном дна при установившемся равномерном турбулентном движении жидкости в безнапорном потоке. Формула Шези приемлема для отдельной вертикали при условии равномерного течения:

$$v_i = C_i \cdot \sqrt{h_i \cdot I} \quad (1)$$

где v_i – средняя скорость на вертикали; C_i – коэффициент Шези; h_i – глубина вертикали.

Раскрывая C_i по формуле Маннинга-Павловского ($C = \frac{h^{1/6}}{n}$), формула Шези приобретает следующий вид:

$$v_i = C_i \cdot \sqrt{h_i \cdot I} = \frac{{h_i}^{2/3} \cdot i^{1/2}}{n_i} \quad (2)$$

Коэффициент Караушева – это безразмерный гидравлический коэффициент, который характеризует неравномерность распределения касательных напряжений по смоченному периметру русла и, как следствие, неравномерность распределения продольных скоростей течения.

Формула для расчета коэффициента Караушева:

$$k = \frac{I^{\frac{1}{2}}}{n_i} \quad (3)$$

где I – уклон; n – коэффициент шероховатости.

Формула для расчета коэффициента шероховатости:

$$n_i = \frac{\bar{h}^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}}{\bar{v}} \quad (4)$$

где $\bar{h}$ – средняя глубина в сечении; $\bar{v}$ – средняя скорость в сечении.

Формула для расчета скорости через коэффициент Караушева:

$$\bar{v}_i = \mathrm{k} \cdot {h_i}^{2/3} \quad (5)$$

Если имеется поперечный профиль русла, а также параметры n_i и I, то по формуле (5) рассчитывается распределение по ширине русла средних по вертикали скоростей течения, а затем по формулам, описывающим вертикальное распределение скоростей течения, рассчитываются скорости течения на любых глубинах на разных вертикалях.

Таким образом, формула коэффициента Караушева для естественного русла при наличии измеренного уклона имеет вид:

$$k = \frac{\bar{v}}{\bar{h}^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

Формула для расчета средней скорости потока с учетом коэффициента Караушева:

$$\bar{v}_{\text{расч}} = k \cdot \bar{h}^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Так как в исходных данных не во все дни измерялся уклон, значит необходимо вывести формулу для расчета коэффициента Караушева, которая не учитывает этот параметр. Это можно сделать при помощи совокупности формул (2), (3) и (6):

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \cdot \bar{h}^{\frac{1}{6}} \cdot \bar{h}^{\frac{1}{2}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

Если преобразовать формулу (5), то получается искомая формула:

$$\bar{v}_{\text{расч}} = k \cdot \bar{h}^{\frac{2}{3}} \quad (9)$$

Из формулы (6) можно выразить формулу для поиска коэффициента Караушева при отсутствии измеренного уклона:

$$k = \frac{\bar{v}}{\bar{h}^{\frac{2}{3}}} \quad (10)$$

3 Расчетная часть

3.1 Расчет коэффициента Караушева

При анализе записей в книжке КГ-3М для реки Сейма – г. Володарск за 1979 г. было выявлено, что из 35-ти дней, когда проводились измерения расходов воды, уклон измерялся только в 21-ом. Для каждого дня были сделаны таблицы со всеми известными фактическими и расчетными данными. Для удобства были выделены цветом скоростные вертикали.

Таблица 1. Данные из расчетной книжки №8 за 29 марта для реки Сейма – г. Володарск

№ 8	Расстояние, м	h, м	Н бс	v, м/с	$\bar{v}$, м/с	$\bar{h}$, м	I, ‰	k	$\bar{v}_{\text{расч}}$, м/с
1	1	0	77,80		0,45	0,50	0,31	1,28	0,45
2	1,5	0,05	77,75						
3	2	0,1	77,70						
4	2,5	0,17	77,63						
5	3	0,35	77,45						
6	3,5	0,43	77,37						
7	4	0,53	77,27	0,3					
8	4,5	0,6	77,20						
9	5	0,6	77,20						
10	5,5	0,64	77,16						
11	6	0,7	77,10	0,55					
12	6,5	0,75	77,05						
13	7	0,77	77,03						
14	7,5	0,77	77,03						
15	8	0,84	76,96	0,84					
16	8,5	0,79	77,01						
17	9	0,78	77,02						
18	9,5	0,69	77,11						
19	10	0,63	77,17	0,49					
20	10,5	0,52	77,28						
21	11	0,42	77,38						
22	11,5	0,3	77,50						
23	12	0,1	77,70						
24	12,5	0	77,80						

Первая дата, которая встречается в исходных данных, это книжка №8 за 29 марта. В таблице 1 представлены данные по промерам глубины (3 столбец), которые были переведены в метры балтийской системы (4 столбец), данные по скоростям на промерных вертикалях (5 столбец), данные средней скорости и глубины на створе (6 и 7 столбцы соответственно), измеренный уклон (8 столбец), рассчитанный коэффициент Караушева (9 столбец) и рассчитанная средняя скорость на вертикали (10 столбец). Также, за каждый из дней были сделаны профили поперечного сечения.



Рисунок 9. Профиль поперечного сечения за 29-е марта на реке Сейма – г. Володарск

На рисунке 9 видно, что уровень воды не высокий. Исходя из данных, взятых из книжки – русло чистое, следовательно ледовые явления уже не наблюдались. Глубина в самой глубокой точке равна 0,84 м. Расход равнялся 2,6 м^3/с. Уклон в этот день был измерен и равнялся 0,31. Коэффициент Караушева равен 1,28.

Вторая дата из исходных данных – это книжка №9 за 8 апреля. Русло также чистое, уровень вырос не значительно: глубина в самой глубокой точке равна 0,96 м. Расход составил 3,02 м^3/с. Уклон в этот день не измерялся.

Таблица 2. Данные из расчетной книжки №9 за 8 апреля для реки Сейма – г. Володарск

№ 9	Расстояние, м	h, м	Н бс	v, м/с	$\bar{v}$, м/с	$\bar{h}$, м	I, ‰	k	$\bar{v}_{расч}$, м/с
1	0,05	0,07	77,85						
2	1	0,16	77,76						
3	1,5	0,28	77,64						
4	2	0,33	77,59	0,18					
5	2,5	0,38	77,54						
6	3	0,4	77,52						
7	3,5	0,48	77,44						
8	4	0,6	77,32	0,17					
9	4,5	0,7	77,22						
10	5	0,75	77,17						
11	5,5	0,8	77,12						
12	6	0,86	77,06	0,62					
13	6,5	0,9	77,02						
14	7	0,95	76,97		0,4	0,57		0,58	0,40
15	7,5	0,9	77,02						
16	8	0,94	76,98	0,63					
17	8,5	0,88	77,04						
18	9	0,87	77,05						
19	9,5	0,8	77,12						
20	10	0,7	77,22	0,31					
21	10,5	0,73	77,19						
22	11	0,52	77,4						
23	11,5	0,42	77,5						
24	12	0,23	77,69	0,19					
25	12,5	0,14	77,78						
26	13	0,05	77,87						
27	13,5	0	77,92						

Коэффициент Караушева был рассчитан по выведенным выше формулам и равен 0,58. Это более чем в 2 раза меньше, чем 29 марта.



Рисунок 10. Профиль поперечного сечения за 8-е апреля на реке Сейма – г. Володарск

Со всеми данными за каждый день можно ознакомиться в приложениях А (1-35). Ознакомиться с профилями поперечного сечения за каждый день можно в приложении Б (1-18).

3.2 Поиск зависимости различных величин от коэффициента Караушева

После расчета всех значений, была сделана сводная таблица по всем имеющимся данным (таблица 3). Для удобства, из этой таблицы были выбраны дни, в которых измерен уклон (таблица 4).

По данным различных измеренных и расчетных величин, были построены 2 вида графиков зависимости для каждой переменной от коэффициента Караушева: по данным за дни с измеренным уклоном и по всем имеющимся данным.

Всего было выбрано 6 переменных: $\bar{Q}$=f(k), $\bar{h}$=f(k), B=f(k), F=f(k), $\bar{v}$=f(k) и I=f(k). В каждом графике между точками была проведена линия тренда и, для проверки взаимосвязи между переменными, был найден коэффициент корреляции.

Таблица 3. Сводная таблица по всем имеющимся данным на реке Сейма – г. Володарск

№ книжки	Дата	принятые данные из книжки					I, ‰	k	$\bar{v}_{расч}$, м/с
		$\bar{Q}$, м^3/с	$\bar{h}$, м	B, м	$\bar{v}$, м/с	F, м^2			
8	29 мар	2,6	0,50	11,5	0,45	5,77	0,31	1,28	0,45
9	8 апр	3,02	0,57	13	0,4	7,42	-	0,58	0,40
10	18 апр	3,52	0,72	13,6	0,36	9,77	-	0,45	0,36
11	22 апр	3,35	0,68	13,7	0,36	9,28	0,34	0,80	0,36
12	26 апр	4,22	0,81	14	0,35	11,4	0,30	0,74	0,35
14	28 апр	8,2	1,35	14	0,43	18,9	-	0,35	0,43
15	28 апр	10,6	1,54	16	0,43	24,6	-	0,32	0,43
16	29 апр	28	1,62	25,3	0,68	41,1	-	0,49	0,68
17	29 апр	46,2	1,71	26,5	1,02	45,4	-	0,71	1,02
18	30 апр	54,1	1,77	27	1,13	47,8	-	0,77	1,13
19	1 май	52,9	1,80	27	1,10	48,7	-	0,74	1,10
20	3 май	34,7	1,70	26,1	0,79	44,5	-	0,74	0,79
21	6 май	20	1,83	21,5	0,51	38,9	-	0,34	0,51
22	8 май	11,6	1,53	17,5	0,43	26,8	-	0,32	0,43
23	19 май	3,58	0,75	13,9	0,34	10,4	-	0,41	0,34
24	28 май	2,75	0,59	13	0,36	7,67	-	0,51	0,36
25	9 июн	2,21	0,53	12,1	0,34	6,45	0,31	0,93	0,34
26	18 июн	2,19	0,48	11,5	0,40	5,48	0,28	1,23	0,40
27	29 июн	1,8	0,38	10,9	0,44	4,12	0,22	1,79	0,44
28	9 июл	2,3	0,52	11,6	0,42	5,45	0,12	1,87	0,42
29	18 июл	2,14	0,50	11,6	0,37	5,79	0,16	1,47	0,37
30	22 июл	2,1	0,48	12,1	0,36	5,78	0,16	1,47	0,36
31	9 авг	1,77	0,43	11,4	0,36	4,94	0,12	1,82	0,36
32	18 авг	1,72	0,43	11,4	0,35	4,88	0,16	1,54	0,35
33	2 сен	1,87	0,49	11,3	0,34	5,53	0,22	1,17	0,34
34	20 сен	3,48	0,84	14	0,34	10,3	0,22	0,72	0,34
35	29 сен	3,06	0,67	13,6	0,34	9,11	0,38	0,72	0,34
36	9 окт	2,55	0,58	13	0,34	7,59	0,31	0,88	0,34
37	18 окт	2,56	0,62	13,1	0,31	8,17	0,62	0,54	0,31
38	31 окт	2,3	0,77	13,8	0,22	10,6	-	0,26	0,22
39	9 ноя	2,54	0,66	11,9	0,32	7,84	0,72	0,50	0,32
40	18 ноя	4,46	0,85	13,9	0,37	11,9	0,94	0,43	0,37
41	29 ноя	4,07	0,82	14,1	0,35	11,5	0,84	0,44	0,35
42	8 дек	4,08	0,80	13,9	0,37	11,1	0,91	0,45	0,37

3.2.1 Поиск зависимости при наличии уклона

Для сравнения фактических данных и их зависимостей с эмпирическими данными и их зависимостей, было принято решение сравнивать и анализировать их по отдельности, начиная с натурных данных. Это нужно для последующей проверки с восстановленными данными с помощью выведенных формул (8) и (9).

Таблица 4. Вспомогательная таблица по всем имеющимся данным за дни с измеренным уклоном на реке Сейма – г. Володарск за 1979 г.

№ книжки	Дата	K	I, ‰	$\bar{Q}$, м^3/с	F, м^2	B,м	$\bar{h}$, м
8	29 мар	1,28	0,31	2,6	5,77	11,5	0,5
11	22 апр	0,80	0,34	3,35	9,28	13,7	0,68
12	26 апр	0,74	0,3	4,22	11,4	14	0,81
25	9 июн	0,93	0,31	2,21	6,45	12,1	0,53
26	18 июн	1,23	0,28	2,19	5,48	11,5	0,48
27	29 июн	1,79	0,22	1,8	4,12	10,9	0,38
28	9 июл	1,87	0,12	2,3	5,45	11,6	0,52
29	18 июл	1,47	0,16	2,14	5,79	11,6	0,5
30	22 июл	1,47	0,16	2,1	5,78	12,1	0,48
31	9 авг	1,82	0,12	1,77	4,94	11,4	0,43
32	18 авг	1,54	0,16	1,72	4,88	11,4	0,43
33	2 сен	1,17	0,22	1,87	5,53	11,3	0,49
34	20 сен	0,72	0,22	3,48	10,3	14	0,84
35	29 сен	0,72	0,38	3,06	9,11	13,6	0,67
36	9 окт	0,88	0,31	2,55	7,59	13	0,58
37	18 окт	0,54	0,62	2,56	8,17	13,1	0,62
39	9 ноя	0,50	0,72	2,54	7,84	11,9	0,66
40	18 ноя	0,43	0,94	4,46	11,9	13,9	0,85
41	29 ноя	0,44	0,84	4,07	11,5	14,1	0,82
42	8 дек	0,45	0,91	4,08	11,1	13,9	0,8

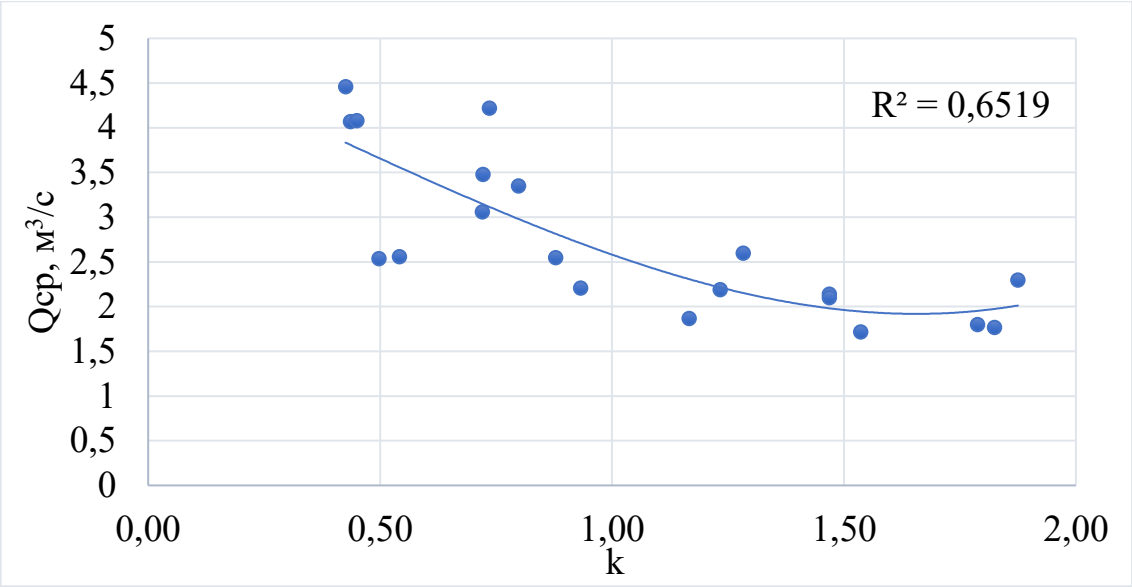


Рисунок 11. График зависимости коэффициента k от расхода воды *Q* на реке Сейма – г. Володарск

На рисунке 11 наблюдается большой разброс точек. Коэффициент корреляции равен 0,65, что меньше допустимых 0,7. Значит зависимость расхода воды и коэффициента Караушева не выявлен.

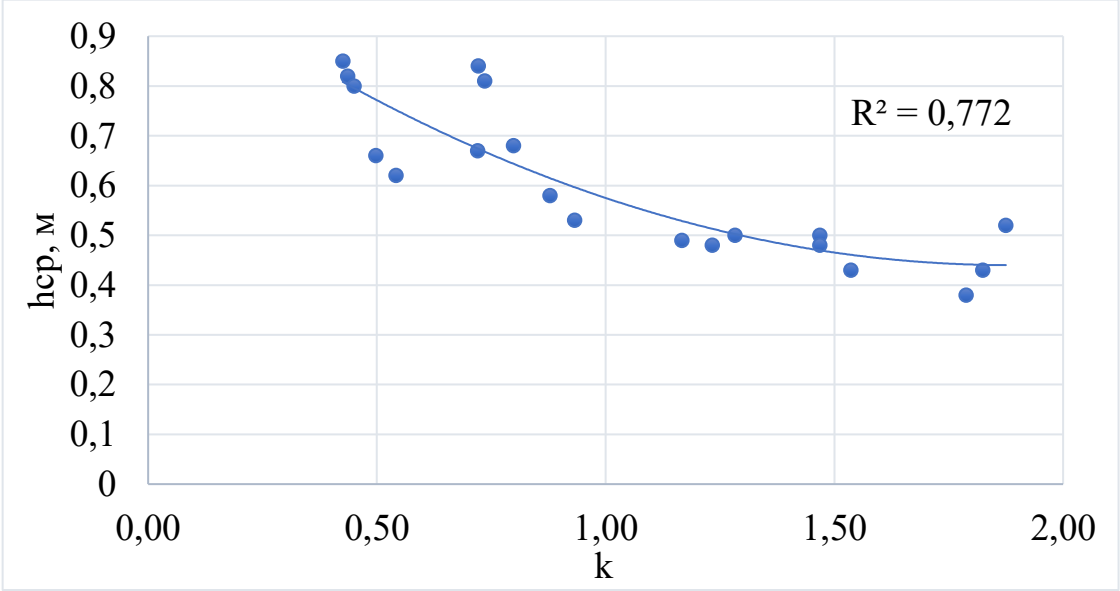


Рисунок 12. График зависимости коэффициента k от средней глубины *h* на реке Сейма – г. Володарск

На рисунке 12 видно, что линия находится в поле точек, а некоторые точки лежат на ней. Коэффициент корреляции равен 0,77, что больше допустимых 0,7. Значит зависимость средней глубины и коэффициента Караушева выявляется.

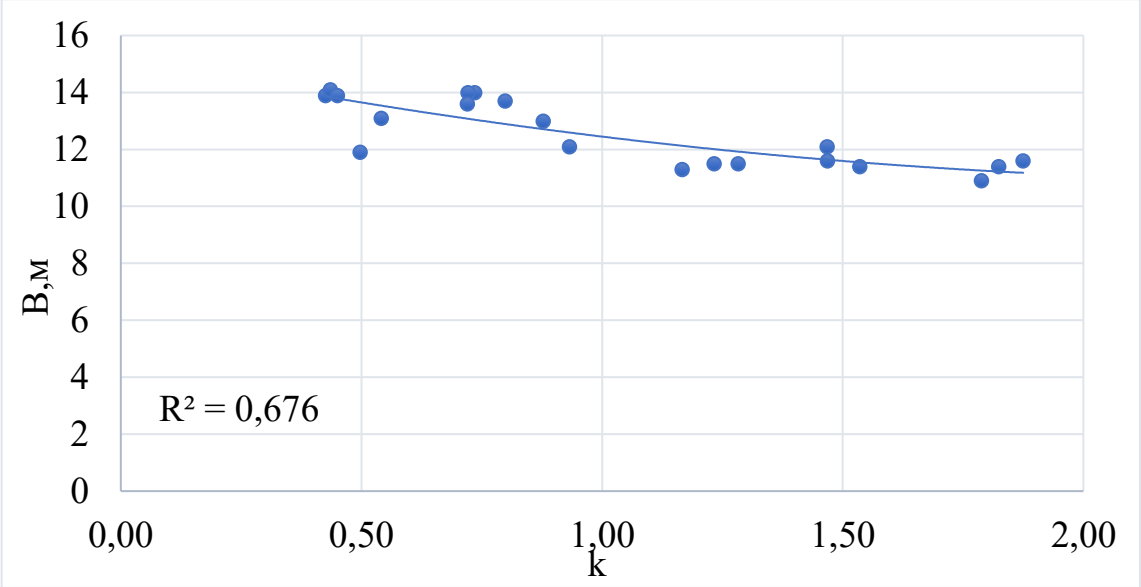


Рисунок 13. График зависимости коэффициента k от ширины русла *B* на реке Сейма – г. Володарск

На рисунке 13 видно, что точки сгущаются на промежутке 0,4-0,45 по оси k, на промежутке 0,75-0,9 по оси k, на промежутке 1,15-1,25 по оси k, на промежутке 1,45-1,55 по оси k и на промежутке 1,8-1,85 по оси k. Кажется, что зависимость прослеживается, но так как коэффициент корреляции меньше 0,7 ($R^2 = 0,68$), то зависимость не подтверждается.

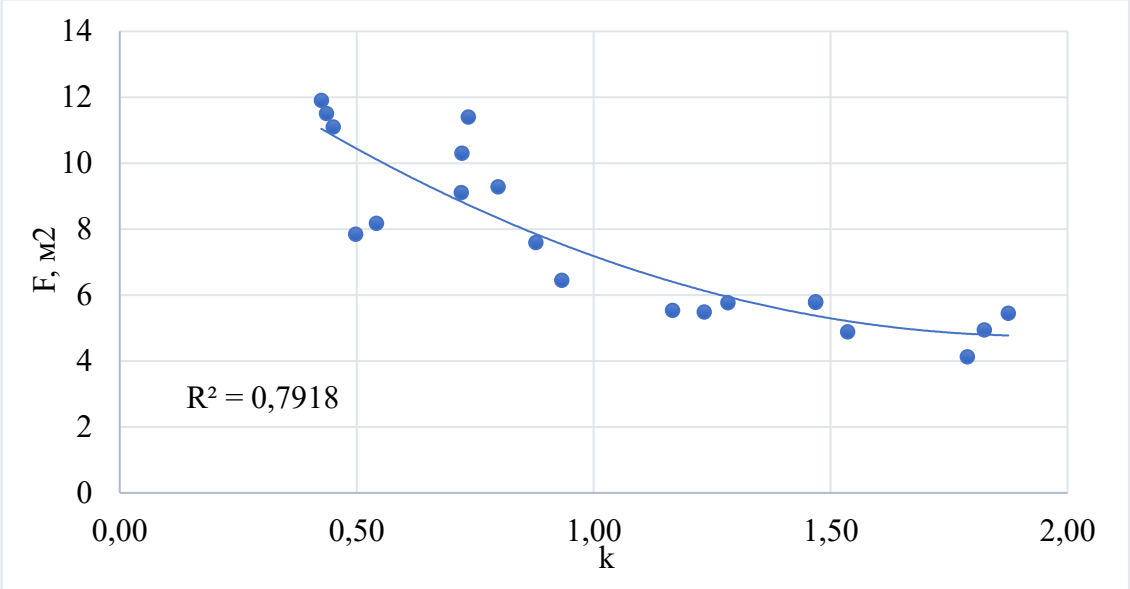


Рисунок 14. График зависимости коэффициента k от площади сечения *F* на реке Сейма – г. Володарск

На рисунке 14 наблюдается большой разброс точек в промежутке 0,5-1 по оси k, но несмотря на это все остальные точки, не лежащие на этом

промежутке, хорошо описываются данной прямой. Коэффициент корреляции равен 0,79. Значит зависимость хорошо выявляется.

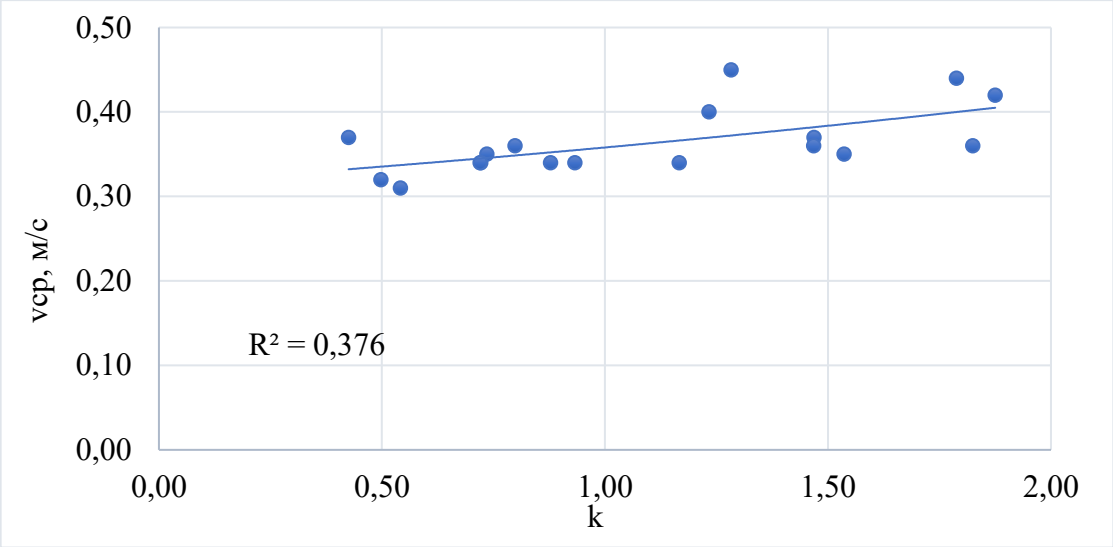


Рисунок 15. График зависимости коэффициента k от средней скорости *v* на реке Сейма – г. Володарск

На рисунке 15 наблюдается большой разброс точек. Коэффициент корреляции равен 0,38, что является самым низким показателем среди представленных графиков. Всего 2 точки лежат на прямой и 5 точек очень близки к ней. Оставшиеся 13 точек сильно отклоняются, поэтому зависимость не прослеживается.

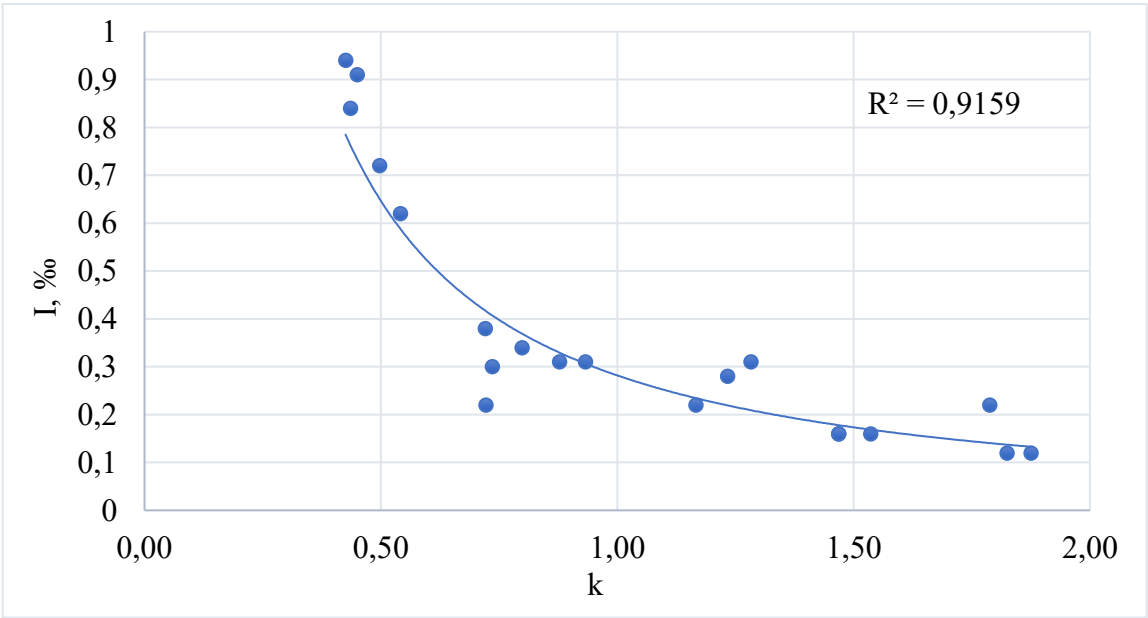


Рисунок 16. График зависимости коэффициента k от уклона *I* на реке Сейма – г. Володарск

На рисунке 16 наблюдается характерная зависимость между переменными. Коэффициент корреляции равен 0,92, что является самым высоким показателем среди представленных графиков. Он показывает отличную зависимость между переменными.

Всего 1 точка значительно отклоняется от прямой, а все остальные лежат в ее поле. Эта точка имеет координаты (0,72; 0,22), и если проанализировать ряд данных (таблица 4), по которым была сделана зависимость, то можно увидеть точку с координатами (0,72; 0,38), которая почти лежит на прямой и может являться уточнением для 1 точки. 2 измерения за 20 апреля

3.2.2 Поиск зависимости по всем имеющимся данным

Далее, в работе был произведен поиск зависимостей по всем имеющимся данным на реке Сейма г. Володарск (таблица 3).

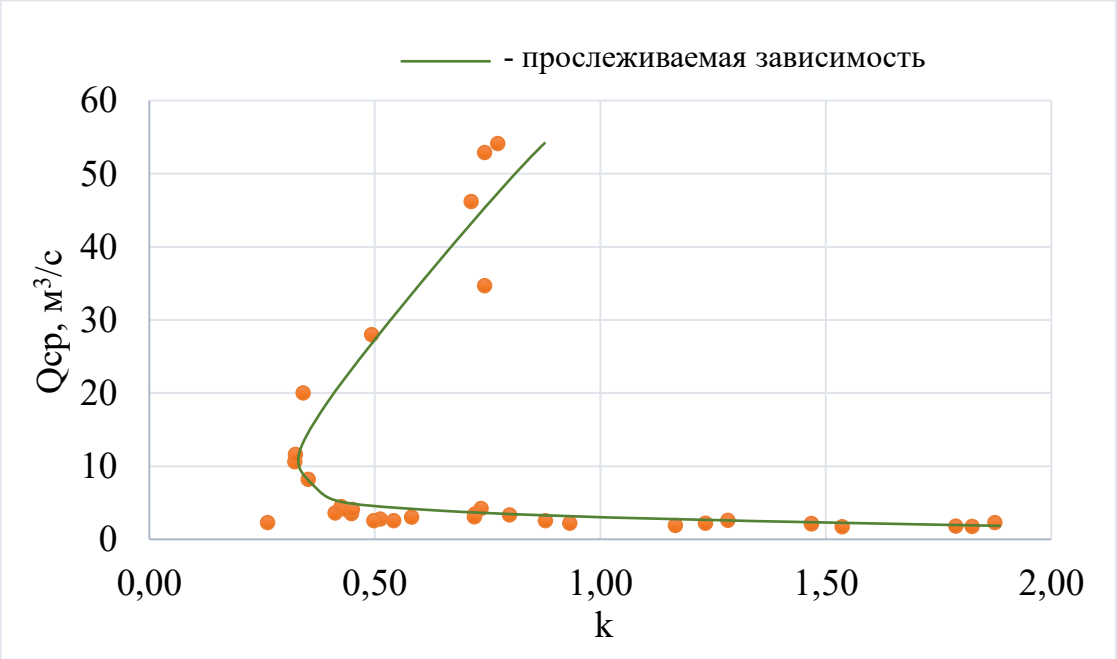


Рисунок 17. График зависимости коэффициента k от расхода воды *Q* по всем данным на реке Сейма – г. Володарск

На рисунке 17 можно увидеть сильно отклоняющиеся точки в промежутке 20-55 м^3/с по оси Q. Можно сделать вывод о том, что это

измерения во время весеннего половодья. Именно для этих дней коэффициент Караушева измерялся по выведенным формулам.

Коэффициент корреляции для ряда данных равен 0,2, что является крайне низким показателем. Но несмотря на это, можно сделать вывод о том, что на графике визуально видна зависимость: с увеличением расхода воды уменьшается коэффициент Караушева, но отмечается точка перегиба на значении 8-10 $м^3/с$, когда с увеличением расхода воды увеличивается и коэффициент Караушева. По форме эта зависимость похожа на перевернутую ассиметричную параболу. Она была проведена на графике вручную и выделена зеленым цветом.

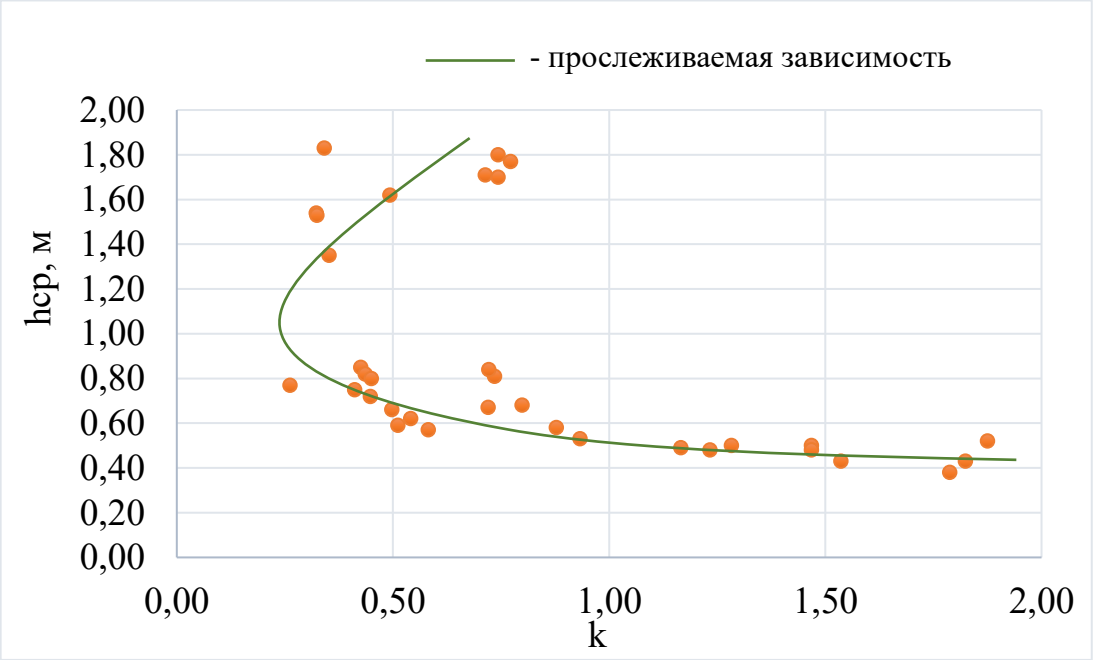


Рисунок 18. График зависимости коэффициента k от средней глубины *h* по всем данным на реке Сейма – г. Володарск

На рисунке 18 ситуация аналогичная: сильно отклоняются точки в промежутке 1,4-1,8 м по оси h. Это измерения во время весеннего половодья. Коэффициент корреляции для ряда данных равен 0,52, но несмотря на это, на этом графике также визуально видна зависимость: с увеличением глубины уменьшается коэффициент Караушева, но отмечается точка перегиба на значении 1-1,2 м, когда с увеличением глубины увеличивается и коэффициент Караушева. Эта зависимость была начерчена от руки и выделена зеленым.

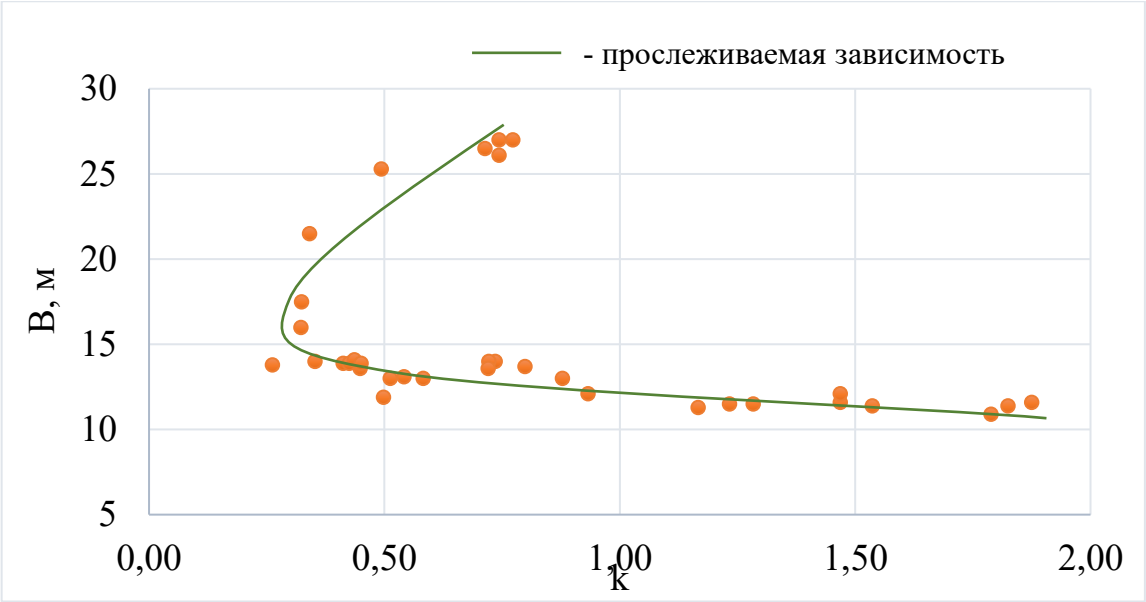


Рисунок 19. График зависимости коэффициента k от ширины русла *B* по всем данным на реке Сейма – г. Володарск

На рисунке 19 сильно отклоняются точки в промежутке 20-28 м по оси B. Это измерения во время половодья. Коэффициент корреляции для ряда данных равен 0,35, но несмотря на это, на этом графике, как и на предыдущих, визуально видна зависимость по форме перевернутой ассиметричной параболы. Это объясняется тем, что с увеличением ширины уменьшается коэффициент Караушева, но отмечается точка перегиба на значении 15-20 м, когда с увеличением ширины увеличивается и коэффициент Караушева.

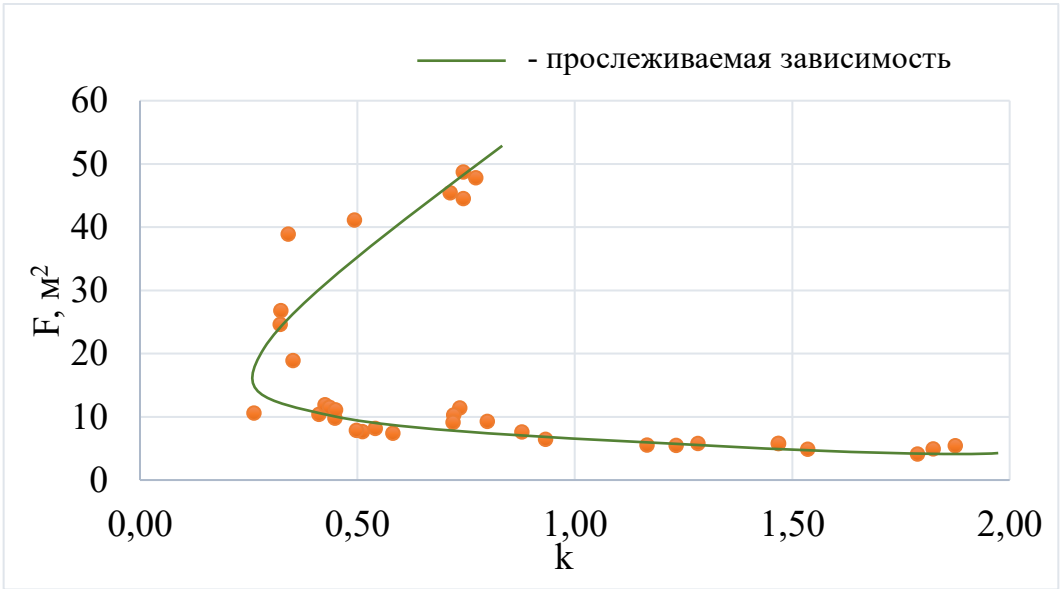


Рисунок 20. График зависимости коэффициента k от площади сечения *F* по всем данным на реке Сейма – г. Володарск

На рисунке 20 сильно отклоняются точки в промежутке 40-50 м^2 по оси F. Это измерения во время весеннего половодья. Коэффициент корреляции по ряду данных равен 0,38, но визуально видна зависимость: с увеличением площади сечения уменьшается коэффициент Караушева, но отмечается точка перегиба на значении 20-30 м^2, когда с увеличением площади сечения увеличивается коэффициент Караушева.

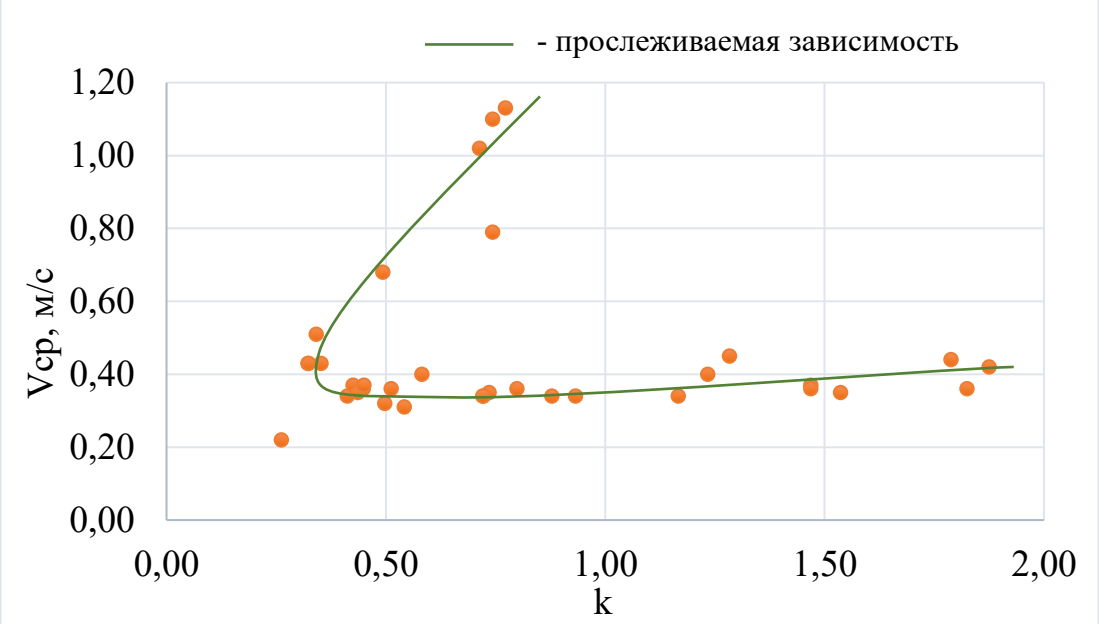


Рисунок 21. График зависимости коэффициента k от средней скорости v по всем данным на реке Сейма – г. Володарск

На рисунке 21 сильно отклоняются 2 точки с координатами (0,26; 0,22) и (0,74; 0,79). Первая точка не меняет график зависимости, если ее не учитывать, поэтому ей можно пренебречь. Если не учитывать вторую точку, то это изменит верхнюю часть графика влево, поэтому эту точку нельзя не учесть.

В промежутке 0,3-0,5 м/с по оси v находится точка перегиба. Коэффициент корреляции по ряду данных равен 0,38. График зависимости по форме похож на предыдущие, но имеет явное различие: с уменьшением средней скорости в сечении уменьшается и коэффициент Караушева, точка перегиба находится на значении 0,3-0,4 м/с по оси v, после чего с увеличением средней скорости увеличивается коэффициент Караушева.

График зависимости для уклона за весь период не делался из-за нехватки данных. График зависимости коэффициента Караушева от уклона можно посмотреть в разделе 3.2.1 (рисунок 15).

3.3 Итог расчетов

Проведя анализ получившихся результатов, получаются следующие итоги: в случае использования коэффициента Караушева, рассчитанного за дни с наличием измеренного уклона, прослеживаются зависимости между 3 переменными: глубиной, площадью сечения и уклоном. Самая явная из них наблюдается между уклоном и коэффициентом Караушева.

При отсутствии измеренного за день уклона, можно установить зависимости по каждой из переменных. Эту зависимость можно описать следующим образом: с увеличением параметра уменьшается коэффициент Караушева, но отмечается точка перегиба, после которой с увеличением параметра увеличивается и коэффициент Караушева. Однако, для скорости течения в сечении прослеживается иная зависимость: с уменьшением средней скорости в сечении уменьшается и коэффициент Караушева, точка перегиба находится на значении 0,3-0,4 м/с по оси v, после чего с увеличением средней скорости увеличивается коэффициент Караушева.

4 Вывод

Целью работы являлось выяснение возможности практического применения коэффициента Караушева для расчета уклона реки, средней скорости потока, расхода воды в естественном русле при отсутствии целого ряда фактических данных.

В работе получилось посчитать коэффициент Караушева без измеренного уклона и, при этом, найти зависимости его значений с различными переменными. Это позволяет восстанавливать ряд данных за разные периоды, если их не хватает, что является успехом проделанной работы.

После произведенных расчетов и анализа зависимостей можно выделить несколько факторов, влияющих на пригодность метода с использованием коэффициента Караушева:

1. Необходимо наличие большого количества данных по изучаемому объекту. В работе было проанализировано 35 дней из 365 возможных. Из 35 дней полное количество измерений наблюдалось в 20 днях.
2. Необходимо проверить метод на пригодность для интересуемой реки, так как не для каждого случая такой способ будет рабочим.
3. Необходимо проверить наличие антропогенных или иных вносящих изменения факторов, потому что это значительно влияет на точность расчетов, ведь использование коэффициента подразумевает продолжительное стабильное состояние естественного русла. В ином случае происходит уменьшение точности расчетов

Можно сделать вывод о том, что метод расчета с использованием коэффициента Караушева применим на практике, но нужно продолжать исследования для сбора информации, которая позволит минимизировать погрешности расчетов.

Список литературы

1.Барышников Н. Б., сборник – «Русловые процессы» – СПб, РГГМУ, 2007г.

2.Сборник гидрологических книжек КГ-3М “река Сейма – пост Володарск за 1979г.”

2.МДС “Бассейн реки Волга, том I, выпуск 23, 1986г.”

3.Сикан А.В. «Методы статистической обработки гидрометеорологической информации» – СПб, РГГМУ, 2007.

Приложение

№ книжки	Дата	принятые данные из книжки					I, ‰	k	vcp, м/с	Состояние русла
		Qcp, м^3/с	hcp, м	B, м	Vcp, м/с	F, м^2				
8	29 мар	2,6	0,50	11,5	0,45	5,77	0,31	1,28	0,45	чисто
9	8 апр	3,02	0,57	13	0,4	7,42	-	0,58	0,40	чисто
10	18 апр	3,52	0,72	13,6	0,36	9,77	-	0,45	0,36	чисто
11	22 апр	3,35	0,68	13,7	0,36	9,28	0,34	0,80	0,36	чисто
12	26 апр	4,22	0,81	14	0,35	11,4	0,30	0,74	0,35	чисто
14	28 апр	8,2	1,35	14	0,43	18,9	-	0,35	0,43	чисто
15	28 апр	10,6	1,54	16	0,43	24,6	-	0,32	0,43	чисто
16	29 апр	28	1,62	25,3	0,68	41,1	-	0,49	0,68	чисто
17	29 апр	46,2	1,71	26,5	1,02	45,4	-	0,71	1,02	чисто
18	30 апр	54,1	1,77	27	1,13	47,8	-	0,77	1,13	чисто
19	1 май	52,9	1,80	27	1,10	48,7	-	0,74	1,10	чисто
20	3 май	34,7	1,70	26,1	0,79	44,5	-	0,74	0,79	чисто
21	6 май	20	1,83	21,5	0,51	38,9	-	0,34	0,51	чисто
22	8 май	11,6	1,53	17,5	0,43	26,8	-	0,32	0,43	чисто
23	19 май	3,58	0,75	13,9	0,34	10,4	-	0,41	0,34	чисто
24	28 май	2,75	0,59	13	0,36	7,67	-	0,51	0,36	чисто
25	9 июн	2,21	0,53	12,1	0,34	6,45	0,31	0,93	0,34	редкая раст
26	18 июн	2,19	0,48	11,5	0,40	5,48	0,28	1,23	0,40	редкая раст
27	29 июн	1,8	0,38	10,9	0,44	4,12	0,22	1,79	0,44	редкая раст
28	9 июл	2,3	0,52	11,6	0,42	5,45	0,12	1,87	0,42	редкая раст
29	18 июл	2,14	0,50	11,6	0,37	5,79	0,16	1,47	0,37	редкая раст
30	22 июл	2,1	0,48	12,1	0,36	5,78	0,16	1,47	0,36	редкая раст
31	9 авг	1,77	0,43	11,4	0,36	4,94	0,12	1,82	0,36	редкая раст
32	18 авг	1,72	0,43	11,4	0,35	4,88	0,16	1,54	0,35	редкая раст
33	2 сен	1,87	0,49	11,3	0,34	5,53	0,22	1,17	0,34	чисто
34	20 сен	3,48	0,84	14	0,34	10,3	0,22	0,72	0,34	чисто
35	29 сен	3,06	0,67	13,6	0,34	9,11	0,38	0,72	0,34	чисто
36	9 окт	2,55	0,58	13	0,34	7,59	0,31	0,88	0,34	чисто
37	18 окт	2,56	0,62	13,1	0,31	8,17	0,62	0,54	0,31	чисто
38	31 окт	2,3	0,77	13,8	0,22	10,6	-	0,26	0,22	забереги
39	9 ноя	2,54	0,66	11,9	0,32	7,84	0,72	0,50	0,32	забереги
40	18 ноя	4,46	0,85	13,9	0,37	11,9	0,94	0,43	0,37	чисто
41	29 ноя	4,07	0,82	14,1	0,35	11,5	0,84	0,44	0,35	чисто
42	8 дек	4,08	0,80	13,9	0,37	11,1	0,91	0,45	0,37	чисто

Приложение 1 Сводная таблица по полученным данным

№ 8	Расстояние от начала	Глубина, м	Нбс-глубина	срСкорость на вертикали	срСкорость в сечении	срГлубина в сечении	I,‰
1	1	0	77,80				
2	1,5	0,05	77,75				
3	2	0,1	77,70				
4	2,5	0,17	77,63				
5	3	0,35	77,45				
6	3,5	0,43	77,37				
7	4	0,53	77,27	0,3			
8	4,5	0,6	77,20				
9	5	0,6	77,20				
10	5,5	0,64	77,16				
11	6	0,7	77,10	0,55			
12	6,5	0,75	77,05				
13	7	0,77	77,03		0,45	0,50	0,31
14	7,5	0,77	77,03				
15	8	0,84	76,96	0,84			
16	8,5	0,79	77,01				
17	9	0,78	77,02				
18	9,5	0,69	77,11				
19	10	0,63	77,17	0,49			
20	10,5	0,52	77,28				
21	11	0,42	77,38				
22	11,5	0,3	77,50				
23	12	0,1	77,70				
24	12,5	0	77,80				
29 марта							

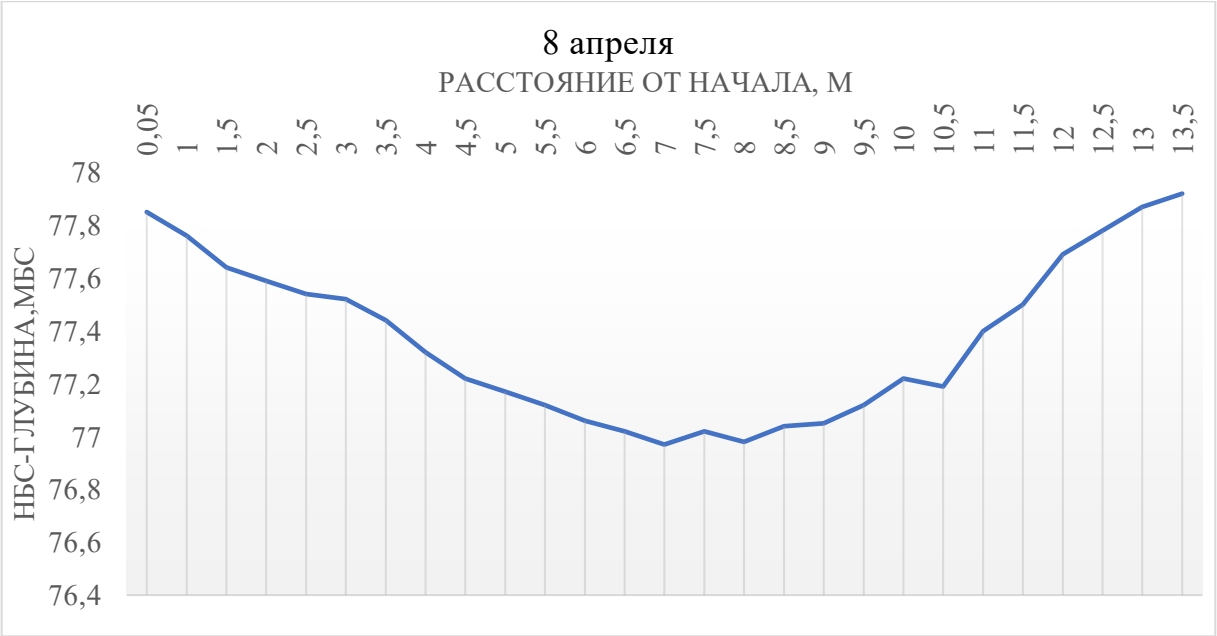
Приложение 2 Таблица по данным за 29 марта 1979г.



Приложение 3 Профиль сечения за 29 марта

№ 9	Расстояние от начала	Глубина, м	Нбс-глубина	срСкорость на вертикали	срСкорость в сечении	срГлубина в сечении	Уклон	К	Vрасч
1	0,05	0,07	77,85						
2	1	0,16	77,76						
3	1,5	0,28	77,64						
4	2	0,33	77,59	0,18					
5	2,5	0,38	77,54						
6	3	0,4	77,52						
7	3,5	0,48	77,44						
8	4	0,6	77,32	0,17					
9	4,5	0,7	77,22						
10	5	0,75	77,17						
11	5,5	0,8	77,12						
12	6	0,86	77,06	0,62					
13	6,5	0,9	77,02						
14	7	0,95	76,97		0,4	0,57		0,58	0,40
15	7,5	0,9	77,02						
16	8	0,94	76,98	0,63					
17	8,5	0,88	77,04						
18	9	0,87	77,05						
19	9,5	0,8	77,12						
20	10	0,7	77,22	0,31					
21	10,5	0,73	77,19						
22	11	0,52	77,4						
23	11,5	0,42	77,5						
24	12	0,23	77,69	0,19					
25	12,5	0,14	77,78						
26	13	0,05	77,87						
27	13,5	0	77,92						
8 апреля									

Приложение 4 таблица по данным за 8 апреля 1979г



Приложение 5 Профиль сечения за 8 апреля

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему **Расчет распределения скоростей течения в естественных руслах**

Исполнитель Сезонов Ярослав Михайлович

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.г.н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Голосовская Вера Алексеевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

к.г.н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

«___»_____20__г.

Санкт–Петербург

2026